

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

С. М. ГУРВИЧ

ВОДОПОДГОТОВКА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1961 ЛЕНИНГРАД

в работу отрегенерированный фильтр путем закрытия задвижек 3 и 5, отсоединяя фильтр от единого автоматического устройства и открывая задвижки 1 и 1, подводя фильтр в рабочий магистраль.

Блок управления и сигнализации на протяжении всего цикла регенерации фильтра контролирует действия всех задвижек и вентилей и в случаях нарушения заданной программы их открытия и закрытия включает аварийную сигнализацию, приостанавливая одновременно действие автоматического устройства.

В случаях надобности (выход из строя автоматического устройства) аппаратчик имеет возможность, без каких-либо предварительных приготовлений осуществлять все операции по регенерации фильтров вручную при помощи установленных на всех задвижках и вентилях распределительных кранов, как это показано на рис. 10-2.

При необходимости эпизодического изменения длительности проведения отдельных операций по регенерации фильтра это достигается путем соответствующей перестановки дисков на барабане КЭП.

Автоматизация механических фильтров осуществляется по такой же системе, как описано выше, отличаясь лишь отсутствием блока приготовления и подачи регенерационного раствора.

Отсутствие на фильтрах при автоматизации их по описанной групповой системе каких-либо электрических приборов и проводов облегчает проведение ревизии и ремонта фильтров и фронта трубопроводов с установленными на них задвижками, не нарушая действия приборов автоматики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Турчинович В. Т., Улучшение качества воды. Стройиздат, 1940.
2. Гурвич С. М. и Кастаньский А. А., Современная аппаратура водоподготовительных установок, Гостехиздат, 1951.
3. Мешерский Н. А., Организация эксплуатации водоподготовительного оборудования тепловых электростанций, Гостехиздат, 1956.
4. Белан Ф. П., Водоподготовка, Гостехиздат, 1958.
5. Справочник химика-энергетика, т. I и II, Гостехиздат, 1958—1960.

В книге излагаются основные начальные сведения о способах обработки воды, предназначенной для питания паровых котлов, а также описываются применяемые для этой цели конструкции аппаратов и схемы наиболее распространенных водоподготовительных установок. Объем освещаемого в книге материала рассчитан на технический минимум знаний, необходимых в практической работе по эксплуатации водоподготовительных установок.

Книга предназначена в качестве учебного пособия для аппаратчиков и лаборантов водоподготовительных установок на электростанциях, а также промышленных предприятиях. Кроме того, значительная часть книги может быть использована лицами других специальностей (теплотехники, механики и др.) для общего ознакомления с основами водоподготовки.

6П2.22 *Гурвич Семен Маркович*

Г 95 Водоподготовка. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961.
240 с. с черт.

6П2.22

Редактор Л. П. Комаров

Техн. редактор К. П. Воронич

Сдано в набор 7/IX 1961 г.

Подписано к печати 24/XI 1961 г.

Т-12128

Бумага 81×108¹/₃₂

12,3 печ. л.

Уч.-изд. л. 13,4

Тираж 20 000 экз.

Цена 77 коп.

Закзз 552

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

На протяжении последних 30 лет быстро нарастала потребность в химически обработанной воде как для паровых котлов, так и для технологических нужд различных отраслей промышленности. В настоящее время в СССР насчитываются тысячи водоподготовительных установок, в эксплуатации которых принимают непосредственное участие десятки тысяч обслуживающего персонала (аппаратчиков, лаборантов, мастеров и проч.). Подавляющее большинство этого персонала комплектуется из лиц, получивших общее образование в объеме не более 7 (реже 10) классов средней школы. Необходимый минимум специальных знаний эти лица получают в течение кратковременного (обычно около месяца) обучения на производственных курсах и месячного стажирования в данной должности под руководством более опытных работников.

Дальнейшее повышение квалификации эксплуатационного персонала в значительной степени тормозится из-за отсутствия надлежащих учебных пособий. Достаточно сказать, что только книга З. М. Соловей «Водоподготовка для котельных установок», последнее издание которой было выпущено Госэнергоиздатом в 1947 г., в какой-то, весьма малой, мере заполняла указанный пробел. Но и это единственное пособие быстро разошлось, далеко не обеспечив потребность в такого рода литературе. К настоящему времени эта книга в большей своей части значительно устарела.

Не следует также забывать, что потребность в лите-

ратуре по водоподготовке не ограничивается кругом лиц, непосредственно занятых в производстве химически обработанной воды.

Таким образом, становится очевидной необходимость издания учебного пособия для эксплуатационного персонала водоподготовительных установок, а также для общего первоначального ознакомления с вопросами обработки воды лицами смежных специальностей.

В качестве одного из таких учебных пособий и предназначается настоящая книга, в которой дается краткое изложение основных вопросов, касающихся водоподготовительных установок, а именно: назначение таких установок; характеристика сырой воды; описание различных процессов обработки воды и тех аппаратов, в которых эти процессы осуществляются; эксплуатация водоподготовительных установок. Кроме того, учитывая, что те основы химии, которые преподают учащимся средней школы, быстро изглаживаются из памяти при отсутствии практического их применения, представлялось целесообразным освежить имеющиеся у читателей сведения по некоторым разделам неорганической химии, непосредственно относящимся к рассматриваемым в книге вопросам водоподготовки. Основная часть этих сведений изложена в гл. I, а остальная — при изложении соответствующих технологических процессов обработки воды.

Описание конструкций водоподготовительной аппаратуры приводится преимущественно непосредственно за описанием соответствующих технологических процессов, что облегчает понимание того или иного аппарата и отдельных его элементов.

Принимая во внимание наличие ведомственных инструкций, содержащих конкретные указания по обслуживанию водоподготовительных установок, в параграфах книги, посвященных вопросам эксплуатации, приведены преимущественно только общие соображения, пояс-

ияющие основные правила эксплуатации, обеспечивающие нормальную работу оборудования.

Более расширенное изложение некоторых вопросов напечатано мелким шрифтом (петитом).

Трудность написания данной книги становится понятной, если учесть, во-первых, специфичность вопросов водоподготовки, во-вторых, недостаточную подготовленность основного потребителя книги к усвоению этих вопросов и поэтому необходимость популярного и в то же время на достаточном для правильного представления рассматриваемых явлений техническом уровне изложения основ технологии воды и, в-третьих, относительно ограниченный объем книги. Все это заставляет автора полагать, что его первая попытка не лишена недостатков.

Автор выражает благодарность рецензенту докт. техн. наук А. П. Мамету, ценные замечания которого способствовали улучшению книги, и обращается ко всем читателям с просьбой направлять свои критические отзывы и пожелания по адресу: Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10, Госэнергоиздат.

Автор

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	8
0-1. Применение воды в технике	8
0-2. Получение электрической энергии и обращение воды в рабочем цикле тепловой электростанции	11
Глава первая. Что такое вода?	22
1-1. Микромир в стакане воды	22
1-2. Из чего состоят все вещества?	25
1-3. Как устроены атомы и молекулы?	30
1-4. Водные растворы	43
1-5. Электролитическая диссоциация	53
Глава вторая. Характеристика природных вод	58
2-1. Естественный кругооборот воды в природе и происхождение примесей в природных водах	58
2-2. Характеристика примесей в природных водах	60
2-3. Показатели качества воды	65
Глава третья. Значение качества воды в паросиловом хозяйстве	68
3-1. Основные понятия	68
3-2. Накипеобразование	73
3-3. Коррозия металла	81
3-4. Водный режим паровых котлов	85
Глава четвертая. Осветление воды	99
4-1. Основные понятия	99
4-2. Коагуляция воды	103
4-3. Коагуляционные установки	105
Глава пятая. Обработка воды методами осаждения	108
5-1. Сущность методов осаждения	108
5-2. Приготовление рабочих растворов реагентов	112
5-3. Дозирование реагентов	114
5-4. Нагревание и смешение обрабатываемой воды с реагентами	130
5-5. Удаление образовавшихся в воде твердых веществ	134
5-6. Эксплуатация установок по обработке воды методами осаждения	139

Глава шестая. Механическое фильтрование воды . . .	141
6-1. Основные понятия	141
6-2. Фильтрующие материалы	145
6-3. Основные элементы конструкций механических и ионит- ных фильтров	150
6-4. Основные типы механических фильтров	169
6-5. Эксплуатация механических фильтров	
Глава седьмая. Ионообменное фильтрование воды . . .	184
7-1. Основные понятия	184
7-2. Ионитовые материалы	187
7-3. Сущность ионообменного фильтрования	190
7-4. Катионный обмен	198
7-5. Основные типы катионитных фильтров	203
7-6. Эксплуатация катионитных фильтров	209
Глава восьмая. Обессоливание воды	214
8-1. Общие соображения	214
8-2. Термическое обессоливание воды	215
8-3. Химическое обессоливание воды	217
Глава девятая. Дегазация воды	221
Глава десятая. Водоподготовительные установки . . .	228
10-1. Схемы водоподготовительных установок	228
10-2. Автоматизация водоподготовительных установок	230
Литература	240

ВВЕДЕНИЕ

0-1. ПРИМЕНЕНИЕ ВОДЫ В ТЕХНИКЕ

Вода является наиболее распространенным материалом, используемым для различных технических целей. Нет ни одной отрасли промышленности, где бы в том или ином виде не применялась вода. Если даже не принимать во внимание колоссальные количества воды, используемые гидроэлектростанциями (так называемый «белый уголь»), то и в этом случае масштабы технического применения воды следует признать огромными.

Вода является хорошим растворителем для многих веществ, что широко используется почти во всех отраслях промышленности.

Процессы травления и крашения в текстильной промышленности, извлечение сахара из сахарной свеклы, выделка кожи, производство искусственного волокна, мыловарение и многие другие производственные процессы протекают на основе использования водных растворов различных веществ. Не менее важна роль воды как среды для протекания разнообразных химических реакций. Во многих производственных процессах вода становится активным компонентом, вступающим в соединение с другими веществами, что находит большое распространение в химической промышленности для получения в огромных количествах многих важных в технике и быту продуктов (различные кислоты, соли и др.). Химически обработанная вода широко применяется в гальванических цехах, банях и прачечных, плавательных бассейнах, в производстве химических реактивов, в нефтегазодобывающей и перерабатывающей промышленности, в производстве взрывчатых веществ, электронных и полупроводниковых приборов, фото-кинопленки и многих других материалов.

В больших количествах вода используется как охлаждающее вещество для деталей различных машин, металлургических и других печей, двигателей внутреннего сгорания, конденсаторов паровых машин и турбин (для конденсации пара), различной химической аппаратуры и т. п. С другой стороны, вода применяется в меньших масштабах как нагревающее вещество в различных водоводяных, пароводяных и иных теплообменных аппаратах, в частности, в системах водяного отопления. В паросиловых установках вода (точнее, водяной пар) является рабочим телом для преобразования тепловой энергии в механическую, которая на тепловых электрических станциях превращается далее в электрическую энергию.

Наконец, следует напомнить о системах городского водоснабжения, где колоссальные количества специально обработанной воды предназначаются в основном для обеспечения населения питьевой водой и других бытовых целей. Во многих случаях водопроводная вода непосредственно используется в значительных количествах и для промышленных целей или потребляется как полупродукт для дальнейшей дополнительной обработки. Водоснабжение является непременным условием благоустройства городских населенных пунктов и промышленных поселков. Производительность водопроводных станций крупных городов достигает нескольких миллионов кубических метров в сутки. Водоснабжение является по существу особой отраслью промышленности, технологические приемы которой во многом аналогичны методам обработки воды для технических целей.

Природные воды всегда содержат примеси в растворенном или во взвешенном состоянии. В зависимости от категории потребителей воды те или иные примеси могут быть полезными или вредными. Поэтому природные воды обычно подвергаются предварительной специальной обработке в соответствии с предъявляемыми к ней требованиями¹. Если все же во многих случаях непосредственно применяют сырую воду для технических нужд, то это объясняется или недооценкой значения качества воды для данного производства, или относительно удов-

¹ В настоящее время насчитывается более 300 различных видов производств, нуждающихся в обработанной воде.

летворительным качеством воды из данного источника водоснабжения.

К качеству воды в промышленности предъявляются самые разнообразные требования.

Как общее правило, вода для технических целей должна быть прозрачной и не содержать взвешенных веществ. Многие производства требуют мягкой воды, т. е. не содержащей солей кальция и магния. В процессах мойки и обезжиривания различных материалов жесткая вода вызывает повышенный расход мыла, часть которого при этом бесполезно расходуется на образование не растворимого в воде «известкового мыла».

Помимо перерасхода мыла, жесткая вода часто приводит к ухудшению качества продукции. Так, например, в текстильной промышленности образующиеся в результате применения жесткой воды нерастворимые мыла частично остаются на волокнах, вызывая грубость ткани и затрудняя дальнейшую ее обработку, особенно при крашении. В кожевенном производстве жесткая вода вызывает излишнюю трату дубильных веществ и ухудшает их использование. Вредят качеству кожи воды с большим содержанием хлористых солей.

В бумажной промышленности особенно нежелательной примесью вод являются соли железа, содержание которых даже в самых незначительных количествах может дать пятна на бумаге. При выпалке некоторых высших сортов бумаги содержание железа в воде допускается не более одной весовой части на сто миллионных весовых частей воды. При обработке шерсти и шелка также требуется вода, лишенная солей железа.

Крахмальное производство требует прозрачную, бесцветную воду, свободную от различных возбудителей — дрожжевых и споровых грибов, препятствующих осаждению крахмала и сообщающих ему в результате образования органических кислот неприятный, гниловатый запах.

Для пивоваренного производства необходима вода по качеству такая же, как и для питья. При этом в зависимости от солевого состава воды получают тот или иной сорт пива. Так, например, мягкая вода дает светлые сорта пива. Темные сорта пива получают на воде, богатой углекислыми солями.

При производстве сахара требуется вода с минимальным содержанием солей, затрудняющих процесс кристаллизации и увеличивающих зольность продукта.

Вода, идущая для разбавления спирта, должна быть мягкой во избежание выделения гипса, замутняющего раствор и затрудняющего его осветление.

Вода, предназначенная для целей охлаждения, не должна содержать значительного количества углекислых солей кальция, могущих вызывать отложения на поверхностях охлаждения и тем самым ухудшать теплоотдачу. По этим же соображениям нежелательно присутствие в охлаждающей воде микроорганизмов, вызывающих зарастание микрофильтров и водорослями омываемых водой поверхностей.

Питьевая вода должна быть прозрачна, бесцветна, без запаха, не содержать вредных для здоровья веществ и болезнетворных ми-

организмов. Обычно присутствие в природных водах некоторого минимума минеральных солей не является вредным для здоровья. Однако чрезмерная минерализация воды может придавать ей горький или соленый привкус, затрудняя использование такой воды для питья. Повышенная жесткость питьевой воды также нежелательна с хозяйственной точки зрения, так как она вызывает перерасход мыла, замедляет варку овощей, ухудшает настаивание чая и др. В то же время некоторый минимум жесткости (т. е. преимущественно солей кальция) необходимо в питьевой воде, во избежание заболеваний рахитом у детей.

Среди технических потребителей воды весьма требовательными к ее качеству являются паросиловые установки и в особенности тепловые электрические станции высокого и сверхвысокого давлений. Получение водяного пара при высокой температуре создают в современных паровых котлах условия, при которых отдельные примеси питательной воды, присутствующие даже в самых незначительных количествах, могут приводить к аварийному состоянию котельные агрегаты и длительному выводу их из строя.

Какой вред приносит в этих условиях вода и каковы причины его возникновения? Какие требования предъявляются к качеству воды, предназначенной для питания паровых котлов? Какими способами обеспечивается удовлетворение этих требований? Прежде чем приступить к изложению ответов на все эти вопросы, являющиеся основным содержанием данной книги, необходимо хотя бы кратко познакомить читателя с устройством современной тепловой электрической станции, поскольку водоподготовительная установка является одним из основных ее звеньев, участвующих в обеспечении нормальной работы паровых котлов и турбин, и, следовательно, эксплуатационный персонал этой установки должен иметь общее представление о процессе получения на станции электрической энергии и о роли воды в этом процессе.

0-2. ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ОБРАЩЕНИЕ ВОДЫ В РАБОЧЕМ ЦИКЛЕ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Современная тепловая электрическая станция является по существу своего рода производственным комбинатом для получения электрической энергии.

На тепловой электростанции вода в виде водяного пара служит рабочим телом для преобразования заклю-

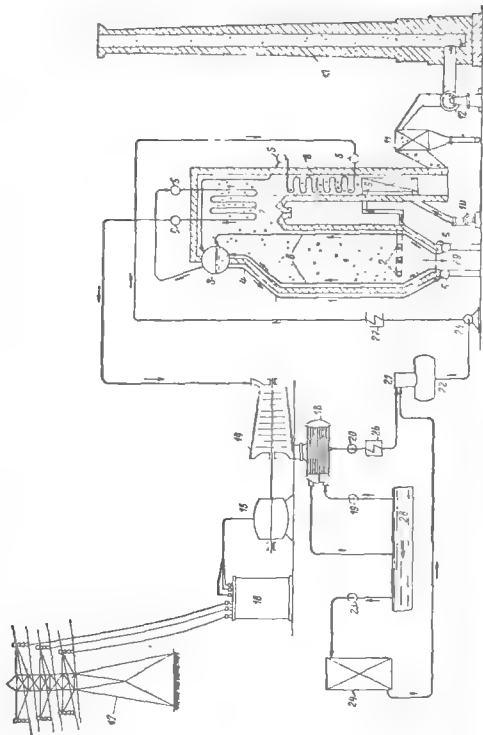


Рис. 0-1. Схема тепловой электростанции с барабанными паровыми котлами.

1 — гоним; 2 — горелка; 3 — барабан котла; 4 — опускные трубы; 5 — котел; 6 — килатильные трубы; 7 — пароперегреватель; 8 — водоподогреватель; 9 — воздушный подогреватель; 10 — дутьевой вентилятор; 11 — воздушный вентилятор; 12 — дымоход; 13 — дымоход; 14 — паровая турбина; 15 — генератор; 16 — повысительный трансформатор; 17 — высоковольтная воздушная линия электропередачи; 18 — конденсатор; 19 — циркуляционный насос; 20 — конденсатный насос; 21 — дразнильный насос; 22 — питательный бак; 23 — насос сырой воды; 24 — водоподогревательная установка; 25 — питательный насос; 26 — подогреватель низкого давления; 27 — подогреватель высокого давления; 28 — река или пруд; 29 — зола и шлак.

чающейся в топливе химической энергии в тепловую энергию, которая затем переходит в механическую энергию и далее в электрическую энергию. Для пояснения этого процесса обратимся к рис. 0-1, на котором дано схематическое изображение современной тепловой электрической станции, оборудованной барабанными паровыми котлами.

Как видно из представленной схемы, получение электрической энергии начинается с процесса горения, имеющего целью превращение химической энергии в тепловую, для чего в топку котла 1 через горелки 2 подается для сжигания топливо, обычно уголь в распыленном состоянии, а также мазут и газ. Процесс горения является химической реакцией соединения углеводородов топлива с кислородом, содержащимся в подаваемом в топку воздухе, с образованием углекислого газа и паров воды. Эта реакция протекает с выделением тепла, за счет которого повышается температура продуктов горения — дымовых газов, состоящих в основном из углекислоты и азота воздуха, не участвующего в процессе горения.

В зависимости от скорости протекания реакции, избытка воздуха и интенсивности теплообмена с окружающей средой процесс соединения с кислородом может вызывать различное повышение температуры. К медленно протекающим процессам соединения с кислородом, весьма распространенным в природе, относится дыхание живых организмов, при котором кислород воздуха через легкие попадает в кровь и окисляет органические вещества пищи, а получающийся в результате этого углекислый газ выносится через легкие в атмосферу. Выделяющаяся при этом тепло поддерживает необходимую температуру тела животных.

Может возникнуть естественный вопрос, почему при таком усиленном потреблении кислорода его содержание в воздухе не уменьшается, так же как не увеличивается содержание в нем углекислого газа. Накоплению углекислого газа и уменьшению кислорода в атмосфере препятствует обратный процесс, осуществляемый растениями, которые, поглощая из воздуха углекислый газ, разлагают его под

действием солнечных лучей на углерод и кислород. При этом кислород возвращается в атмосферу, а углерод идет на построение растений.

На первый взгляд может показаться, что получаемая в этом процессе горения тепловая энергия возникает как бы из ничего. Но, как известно, это противоречило бы закону сохранения энергии, согласно которому энергия не исчезает и не возникает вновь, а только изменяет свою форму. То же самое происходит и в данном процессе: тепловая энергия получается путем превращения в нее химической энергии, содержащейся в участвующих в горении веществах. Но дело все в том, что химическая энергия этих веществ, до того как началась реакция их соединения, была от нас скрыта. Эта химическая энергия любого вещества определяется его внутренним строением, о чем мы более подробно познакомимся в следующей главе. Пока же мы можем считать, что химическая энергия углерода и кислорода в отдельности больше, чем химическая энергия получающегося при их соединении углекислого газа, в результате чего этот избыток химической энергии и превращается в тепловую энергию, которая есть не что иное, как энергия движения мельчайших частиц (молекул) любого вещества.

Таким образом, при горении топлива в топке котла происходит превращение скрытой химической энергии вступающих во взаимодействие веществ в явную энергию теплового движения молекул продуктов горения. Эту скрытую энергию называют потенциальной (от латинского слова — потенция, означающего возможность).

В природе и в технике — всюду происходит превращение потенциальной (скрытой) энергии в энергию явную (движения), и наоборот. Запас энергии мы производим каждый день, заводя свои часы: явная энергия заводящей руки превращается в потенциальную энергию часовой пружины, которая затем постепенно в течение суток принимает форму явной энергии в движении стрелок часов.

В топочной камере парового котла в результате протекающей достаточно быстро реакции соединения топлива с кислородом происходит интенсивное превращение химической энергии топлива в тепловую энергию, за счет которой температура топочных газов повышается до $1\,200$ — $1\,600^{\circ}\text{C}$.

Горячие дымовые газы поднимаются вверх и, огибая

внутренние перегородки топки, проходят извилистый путь, омывая наружные поверхности трубной системы котла, внутри которой находится вода. При этом тепло дымовых газов передается металлическим стенкам труб, а от них воде, нагревая ее до температуры кипения при данном рабочем давлении в котле и передавая воде тепловую энергию, необходимую для ее испарения. В современных котлах высокого давления (100–180 ат) вода в кипяtilьных трубах нагревается до 310–350° С.

Помимо передачи тепла дымовых газов путем непосредственного соприкосновения их с поверхностью трубной системы котла (иосящей название передачи тепла конвекцией), в зоне горения в топке кипяtilьные трубы нагреваются за счет так называемой лучистой энергии, излучаемой раскаленными частичками угля. Эта передача тепла носит название излучения или радиации. Таким же способом передается на землю лучистая энергия солнца.

В передних пучках кипяtilьных труб, омываемых более горячими газами, а также нагреваемых за счет излучения топки, получается больше пара, чем в задних пучках. Поэтому пароводяная смесь в передних пучках имеет меньший удельный вес, чем в задних пучках. Благодаря этой разнице удельных весов создается естественная циркуляция воды из барабана котла 3 в опускные трубы 4 и далее через коллектора 5 и пучки кипяtilьных труб 6 вновь в барабан 3.

Имеются также паровые котлы с принудительным движением воды, создаваемым специальными насосами. В частности, так называемые прямоточные котлы, позволяющие работать при сверхвысоких и критических давлениях, когда разница в удельных весах воды и пара становится настолько незначительной (или совсем исчезает), что естественная циркуляция уже не может быть осуществлена.

Образующийся в трубах пар поступает в барабан котла 3, собираясь в его верхней части над водой. Отсюда пар поступает в пароперегреватель 7, где дополнительно нагревается до температуры 400–550° С, получая дополнительное количество тепла.

Выходящие из котла после пароперегревателя дымовые газы имеют еще высокую температуру, порядка 500–700° С. Для использования этой тепловой энергии

ся (индуктируется) электрический ток. Таким образом в электрическом генераторе происходит преобразование механической энергии в электрическую.

Полученный в генераторе электрический ток поступает затем в трансформатор 16 для повышения его напряжения и далее через высоковольтную воздушную линию электропередачи 17 передается на далекие расстояния к потребителям электрической энергии.

Совершаемая паром работа в турбине будет тем больше, чем больше разность начальной и конечной температур пара. Поэтому для максимального снижения конечной температуры отработанного пара его выпускают в конденсатор 18, где пар проходит между трубками, по которым движется охлаждающая его вода. Последняя подается в конденсатор циркуляционным насосом 19 из реки (или озера, пруда). Отнимая от пара тепло, вода подогревается и по выходе из конденсатора возвращается в реку. При недостатке в охлаждающей воде воду из конденсатора направляют в охлаждающее устройство — градирню или брызгальный бассейн, откуда охлажденная вода вновь направляется в конденсатор.

Вследствие охлаждения и конденсации пара давление в конденсаторе получается значительно ниже атмосферного и составляет 0,04—0,08 *ата*. Конденсат, имеющий температуру 25—30° С, стекает в нижнюю часть конденсатора, откуда при помощи конденсатного насоса 20 направляется через деаэрационную головку 21 в сборный питательный бак 22. Добавочная вода, восполняющая потери пара и воды через различные неплотности и получаемая путем химической обработки сырой воды, подается насосом 23 на водоподготовительную установку 24 и далее также через деаэрационную головку 21 в питательный бак 22.

По описанной схеме работают так называемые конденсационные турбины, у которых энергия пара используется только для получения электрической энергии. Существуют еще теплофикационные турбины, получившие у нас значительное применение. Теплофикационные турбины работают с отбором пара из промежуточных ступеней турбины, который направляется для использования в различных производственных процессах, а также в пароводяные подогреватели (бойлеры) для нагрева воды, идущей на отопление. В теплофикационной тур-

бине, следовательно, осуществляется, помимо выработки электрической энергии, отпущек и тепловой энергии.

Из питательного бака 22 вода питательным насосом 25 подается через водяной экономайзер 8 снова в верхний барабан котла 3.

Таким образом, движение воды и пара из тепловой электрической станции конденсационного типа осуществляется по замкнутому кругу: питательный бак, питательный насос, котел, паровая турбина, конденсатор, конденсатный насос и снова питательный бак (рис. 0-3,а). При этом на конденсационных электростанциях, вырабатывающих только электрическую энергию, внутростанционные потери воды и пара происходят только через различные неплотности и с продувкой котла и в нормальных условиях составляют незначительную величину, не превышающую 1—2% от общей паропроизводительности котельной.

На теплофикационных электростанциях, помимо внутростанционных потерь, имеются внешние потери пара и конденсата на отопительные и производственные цели. В последнем случае эти потери могут достигать 40—60% от общего расхода пара. На теплофикационных электростанциях движение воды и пара осуществляется по двум замкнутым контурам (рис. 0-3,б): один — через конденсатор турбины (см. выше), а второй — через производственные агрегаты, использующие тепло отборного пара турбины.

Потери воды и пара на электростанциях возмещаются сырой водой, которая подвергается предварительной химической обработке для того, чтобы ее качественная характеристика удовлетворяла требованиям надежной и экономичной эксплуатации паросилового оборудования.

Возникает, следовательно, необходимость иметь на каждой тепловой электростанции специальную установку по обработке сырой воды. Такие водоподготовительные установки на современных электростанциях располагаются обычно в отдельных зданиях, где устанавливается различное оборудование, предназначенное для протекания технологических процессов, имеющих целью получение из сырой воды химически обработанной воды, удовлетворяющей требованиям, обеспечивающим нормальную, безаварийную работу котлотурбинного оборудования.

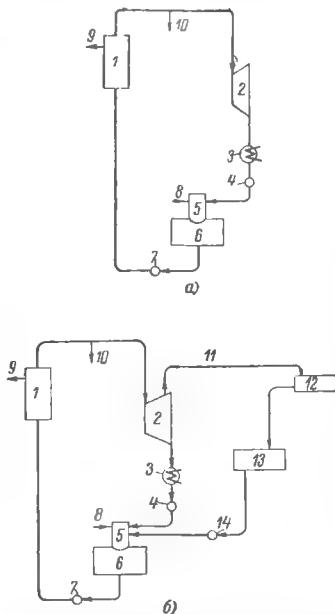


Рис. 0-3 Схема обращения воды в системе тепловой электростанции.

а — конденсационного типа; б — теплофикационного типа.
 1 — паровой котел; 2 — паровая турбина; 3 — конденсатор; 4 — конденсатный насос; 5 — деаэрационная колонка; 6 — питательный бак; 7 — питательный насос; 8 — подвод добавочной воды; 9 — продувка котла; 10 — внутривыпускные потери пара и воды; 11 — пар на производство; 12 — производственные потребители пара; 13 — сборник производственного конденсата; 14 — насос для перекачки производственного конденсата.

Из всего сказанного следует, что водоподготовительные установки на электростанциях можно рассматривать как своеобразные фабрики, для которых сырьем является исходная, природная вода, а конечной продукцией — химически обработанная вода. Отсюда вытекает необходимость начинать знакомство с такими «фабриками воды» прежде всего с поступающего на них сырья, т. е. с природной водой, чему и посвящается следующая глава.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЧТО ТАКОЕ ВОДА? ¹

1-1. МИКРОМИР В СТАКАНЕ ВОДЫ

Ответить на такой, казалось бы, простой вопрос, поставленный в заголовке данной главы, не так легко. Начнем с того, что наполним речной водой обычный чайный стакан и попытаемся определить, что мы можем сказать об этой воде с помощью наших органов чувств. Прежде всего при взгляде на стакан с водой на свет мы можем определить ее прозрачность, при этом это определение может иметь различные условные качественные оттенки, например: очень прозрачная, прозрачная, мутноватая, мутная, очень мутная. Так же качественно можно определить цветность воды (бесцветная, желтоватая и др.), запах, вкус (безвкусная, соленая, горькая и др.). Прикоснувшись к этому стакану рукой, мы можем определить температуру воды, назвав ее холодной, тепловатой, теплой, горячей и т. д. Перечисленными чисто качественными определениями, собственно, и ограничивается наше знакомство с природной водой, которое мы можем дать, используя наши органы чувств. Это знакомство, разумеется, нельзя признать достаточным для характеристики сырья, поступающего на водоподготовительную фабрику электростанции потому, что, во-первых, она не даст количественных показателей и, во-вторых, как это будет показано ниже, является далеко не полной.

Наше зрение не позволяет нам увидеть в воде больше того, что было указано выше (прозрачность и цвет-

¹ Затронутые в этой главе, а также в отдельных местах последующих глав некоторые основы современной физики и химии имеют задачу дать в самых общих чертах некоторый минимум знаний, облегчающих понимание излагаемых в данной книге вопросов химической обработки воды.

ность). Объясняется это устройством нашего глаза и углом зрения, под которым мы видим те или иные предметы. Угол зрения определяется величиной рассматриваемого предмета и расстоянием, на котором он находится от глаза. Чем больше это расстояние, тем меньше угол зрения и тем меньше изображение рассматриваемого предмета на сетчатке глаза.

Уменьшая расстояние между глазом и рассматриваемым предметом, мы увеличиваем угол зрения и тем самым увеличиваем видимое число его деталей. Приближение предмета к глазу будет улучшать его видимость только до расстояния примерно 20–25 см, являющегося расстоянием наилучшего зрения для нормального человеческого глаза и определяемого кривизной сферы глазного хрусталика, вследствие чего при дальнейшем приближении предмета его очертания расплываются и видимость резко ухудшается. Однако и с расстояния лучшего зрения наш глаз не различает очень мелкие предметы. Рассматривая с расстояния наилучшего зрения (25 см) две точки, нормальный человеческий глаз будет их различать, если расстояние между ними будет не менее 0,1 мм, в противном случае он будет считать их одной точкой.

Изменяя направление лучей от рассматриваемого предмета и изменяя угол зрения, мы можем значительно улучшить видимость мелких предметов. Это достигается при помощи комбинации ряда оптических стекол (линз) в приборе, называемом оптическим микроскопом. Современные оптические микроскопы дают увеличение рассматриваемого предмета примерно до 2000 раз, что позволяет видеть частицы размером около одной десяти тысячной доли миллиметра. Чтобы представить себе, насколько малы такие частицы, достаточно указать, что на площади круга с поперечником порядка 0,5 мм, что соответствует примерно типографской точке, можно разместить около 15 млн. таких частиц. Следовательно, оптический микроскоп весьма значительно расширяет границы видимости для нашего глаза.

Что же мы можем увидеть в природной воде с помощью такого микроскопа? Возьмем из нашего стакана одну каплю воды и поместим ее на предметное стеклышко микроскопа. На рис. 1-1 дан один из снимков части такой капли природной воды. Оказывается, эта, как нам казалось, прозрачная и «чистая» капля содержит целый микромир мельчайших живых организмов, называемых микробами.

Ну, а дальше? Можем ли мы с помощью оптического микроскопа увидеть еще более малые предметы, разме-

ром меньше 0,0001 мм. К сожалению, нет, и объясняется это тем, что свет, представляющий собой движение особого вида волн, обладает свойством огибать предметы, размеры которых меньше половины длины этих волн.



Рис. 1-1. Капля природной воды под микроскопом.

1—амеба; 2—раковинная амеба, вращающаяся; 3—свечение; 4—вольтекс; 5—инфузория туфелька; 6—инфузория трубочка; 7—инфузория сувойка; 8—различные микроскопические организмы.

Это свойство, называемое дифракцией, присуще не только световым волнам. Достаточно напомнить волны на поверхности воды, которые, разбиваясь встречаемыми камнями, легко огибают тонкий стебель камыша. Длина самой короткой волны видимого света равна четырем десятиousandным долям миллиметра. Поэтому частицы размером менее двух десятиousandных долей миллиметра такие волны уже легко огибают. Следовательно, свет проходит так, как будто этих частиц нет, и поэтому мы их не видим в оптический микроскоп.

Но вот совсем недавно, в 1932 г., был изобретен новый увеличительный прибор — электронный микроскоп. В электронном микроскопе вместо световых лучей используются электронные лучи, т. е. поток быстро летящих в вакууме мельчайших частиц отрицательного электричества (электронов) (см. ниже 1-3). Электронный микроскоп дает возможность получать увеличение до 100 тысяч раз и более, при этом можно видеть частицы размером до одной миллионной доли миллиметра.

Обычное изображение столь малых цифр, с которыми приходится иметь дело при изучении микромира, является громоздким и неудобным. Поэтому в этих случаях для сокращения записи таких чисел, как, например, $1/1\,000\,000$, пишут 10^{-6} , что означает единицу, деленную на единицу с шестью нулями. В атомной физике принята с той же целью единица измерения длины, называемая ангстремом (сокращенное обозначение $\text{\AA}$) и равная 10^{-10} м или 10^{-7} см*. Таким образом, можно сказать, что электронный микроскоп позволяет видеть частицы размером около 10 ангстрем ($10 \text{\AA}$).

Электронный микроскоп позволил впервые обнаружить микроорганизмы, которые в несколько сот раз меньше микробов, наблюдаемых в обычных оптических микроскопы. Это так называемые вирусы — возбудители ряда инфекционных болезней (оспы, гриппа и др.). Удалось даже увидеть отдельные молекулы-гиганты, характерные для белковых веществ и некоторых пластических масс.

1-2. ИЗ ЧЕГО СОСТОЯТ ВСЕ ВЕЩЕСТВА?

Атомы и молекулы, из которых построены все вещества, увидеть нельзя. Между тем еще 2,5 тысячи лет тому назад древнегреческий ученый материалист Демокрит высказал предположение (гипотезу), что все тела в мире состоят из мельчайших неделимых частиц, которые он назвал атомами (атом по-гречески — неделимый). Позднее было установлено, что атомы соединяются в различные группы — молекулы. По мере накопления различных фактов, получаемых в результате наблю-

* Напомним читателю, что употребительная в технике мера длины микрон равен 10^{-3} см, что составляет 10 000 ангстрем.

т ния и изучения окружающего нас материального мира, эта гипотеза получала все большие и большие подтверждения. Наконец, с конца XIX и начала XX века на основе ряда блестящих открытий физики (явления радиоактивности, лучи Рентгена и др.) была не только доказана справедливость гипотезы о существовании атомов, но определены устройства атомов и молекул различных веществ, а также вычислены заряды и веса элементарных частиц, из которых они построены.

В настоящее время основой современной физики является молекулярно-кинетическая теория, сущность которой может быть кратко сформулирована следующими тремя положениями:

1) все вещества состоят из отдельных мельчайших частиц — атомов и молекул, которые представляют собой объединение из нескольких одинаковых или различных атомов;

2) все атомы и молекулы находятся в состоянии непрерывного движения;

3) между атомами и молекулами действуют электрические силы.

Остановимся несколько подробнее на каждом из этих основных положений молекулярно-кинетической теории, без которой нельзя иметь даже самого элементарного представления о процессах, происходящих в так называемом микромире, с которым нам предстоит познакомиться.

Незначительный объем книги делает затруднительным даже краткое рассмотрение многочисленных фактов, подтверждающих эту теорию. Поэтому из всех предполагаемых в настоящее время наукой опытов, с несомненностью подтверждающих реальность молекул и их непрерывное движение, я ограничусь одним, который, пожалуй, является наиболее убедительным. Это так называемое броуновское движение, названное по имени шотландского ботаника Броуна, впервые открывшего это явление в 1827 г.

Обратимся к нашему стакану воды. Приготовим мелко растертый порошок какого-либо не растворимого в воде твердого вещества (например, смолы), и бросим его в воду. Если теперь мы возьмем каплю такой воды и посмотрим на нее в микроскоп, то увидим, что частицы смолы описывают причудливое, хаотическое движение.

Примерно то же явление мы увидим, если будем рассматривать взвешенные в молоке мельчайшие частицы жира. О беспорядочности этого движения дает представление рис. 1-2, где показан путь одной из таких частиц. Причиной этого движения является движение самих невидимых для нас молекул воды. Частицы смолы или жира хотя и имеют сравнительно с молекулами большие размеры, но, попав в гущу невидимой «толпы» молекул воды, получают беспорядочные толчки от паляющих



Рис. 1-2. Путь частицы при броуновском движении.

на них с разных сторон молекул, под влиянием которых они начинают также беспорядочно метаться из стороны в сторону. *

Заслуживает внимания история открытия этого явления. Изучая под микроскопом взвешенную в воде цветочную пыльцу, ботаник Броун был поражен, когда увидел, что пылинки совершали какие-то странные, хаотические движения, которые он склонен был объяснить как ожившую материю. После этого он стал лихорадочно толочь с помощью кухонной ступки все, что попадалось ему под руку. При этом, как только измельченные частицы достигали размера тысячных долей миллиметра, они начинали то же беспорядочное, зигзагообразное движение. Отчет об этом явлении Броун опубликовал лишь спустя 40 лет после его открытия, при этом он так и не смог правильно его объяснить. Впервые это было сделано английским физиком Рамзаем в 70-е годы прошлого столетия.

Этим же явлением объясняется беспорядочное движение мельчайших пылинок, которое можно наблюдать, если в темную комнату проникает (например, через щель ставня) солнечный луч. В этом случае движение пылинок вызывается ударами, которые они получают при столкновении с быстро движущимися в различных направлениях молекулами кислорода, азота и прочих газов, из которых состоит воздух.

Какова величина молекулы? Она зависит от числа атомов, из которых состоят молекулы, и может изменяться в широких пределах, вплоть до громадных белковых молекул или молекул пластических масс, которые можно даже увидеть в электронный микроскоп и которые насчитывают в себе несколько тысяч атомов. Большинство наиболее распространенных молекул насчитывают в себе не более 5-10 атомов, и их размеры не превышают обычно 3—5 Å, т. е. $5 \cdot 10^{-7}$ мм. Это, конечно, очень малая величина. Чтобы лучше представить себе, насколько малы молекулы, достаточно указать, что если уложить в ряд 10 млн. молекул, то они образуют цепочку длиной всего лишь в 5 мм. После этого становится неувидительным, какое огромное количество молекул содержит каждый, даже самый малый кусочек любого вещества. Так, например, если взять капельку воды объемом около 1 мл³, то в ней содержится около 100 000 000 000 000 000 000 молекул.

Такие большие числа в целях сокращения их написания так же, как это было указано выше для очень малых величин, изображают путем применения степенного показателя. В этом случае 10^2 изображает единицу с двумя нулями, т. е. 100; 10^3 есть 1000 и т. д. Отсюда написанное выше количество молекул в 1 мл³ воды будет равно 10^{20} , а в стакане воды это число молекул составит около 10^{25} .

Конечно, такое число с 25 нулями трудно представить. Заслуживает внимания пример, помогающий представить это огромное число, предложенный английским физиком Томпсоном и заключающийся в следующем. Представьте себе, что мы каким-либо образом поставили метки на всех молекулах, содержащихся в нашем стакане воды. После этого выльем этот стакан воды с мечеными молекулами в океан и тщательно перемешаем всю воду земли так, чтобы эти меченые молекулы равномерно распределились во всех морях и океанах мира. Если после этого зачерпнуть в любом месте стакан воды, то в нем будут обнаружены около 100 отмеченных выше молекул.

Итак, в нашем стакане воды, помимо обнаруженного микромира живых организмов, содержится огромное количество чрезвычайно малых по размеру частиц — молекул, которые к тому же находятся в непрерывном, беспорядочном движении. Это движение носит название тепловое движение молекул, так как температура тела определяется интенсивностью движения

молекул, т. е. их средней скоростью движения. При этом следует учесть, что отдельная молекула проходит по прямой линии лишь очень короткие расстояния, в среднем порядка нескольких тысячных долей миллиметра, после чего она сталкивается с другой молекулой; ее скорость и направление как-то меняются, затем она снова движется по прямой, снова сталкивается и т. д. Молекулы воды как бы беспорядочно мечутся в относительно небольшом объеме. Косвенное представление об этом движении мы имели при знакомстве с броуновским движением (рис. 1-2), при помощи которого легко подтверждается связь этого движения с температурой жидкости: чем выше температура, тем интенсивнее становится броуновское движение.

Поверхность воды в стакане нам кажется спокойной потому, что мы не видим отдельных молекул, хотя некоторые из них при благоприятном направлении движения и достаточной скорости могут даже преодолеть взаимное притяжение и вырваться в окружающий воздух.

По мере нагревания воды и увеличения скорости движения ее молекул последние все в большем количестве начнут вырываться в окружающую среду, пока не достигнут так называемой температуры кипения воды (100°C), когда начинается видимое на глаз энергичное выделение молекул из толщи воды в виде пузырьков пара, который является той же водой, но в газообразном состоянии, при котором молекулы воды (водяного пара) находятся на значительно большем расстоянии друг от друга, чем в жидкости (в воде) и имеют большую свободу движения и реже сталкиваются друг с другом. Так, вода в нашем стакане занимает объем около 0,2 л, а образованный из нее пар займет объем около 334 л, т. е. в 1670 раз больше.

С другой стороны, по мере понижения температуры происходит сжатие тел и уменьшение скорости движения молекул, пока, наконец, при определенной для каждого вещества температуре происходит переход тела из жидкого в твердое состояние, при котором движение молекул весьма ограничено и сводится к незначительным колебаниям около какого-то определенного взаимного их расположения, что позволяет твердому телу иметь определенную форму, кристаллическое строение. Так.

вода при 0°C превращается в твердое состояние — лед, и следовательно, воду можно назвать жидким льдом.

Все вещества без исключения можно получить во всех трех состояниях: твердом, жидком и газообразном. Однако для каждого вещества эти состояния обусловлены определенной температурой. Так, например, жидкая ртуть замерзает при 40°C мороза. Всем известен широко применяемый твердый углекислый газ, получаемый при температуре около 60°C мороза и называемый «сухим льдом». В технике часто используют жидкий воздух, существующий при -192°C (можно получить и твердый воздух). Железо на металлургических заводах получают в жидком виде при температуре около 1500°C , а при 3000°C железо начинает испаряться, превращаясь в газообразное состояние.

При дальнейшем повышении температуры начинается разложение молекул всех веществ на атомы, из которых они образовались, а при температурах порядка сотен тысяч и миллионов градусов, существующих в недрах звезд и нашего солнца, происходит распад атомов и могут существовать только их составные части. С другой стороны, при дальнейшем понижении температуры твердых тел движение молекул будет все уменьшаться, пока не прекратится совсем. Эта температура, называемая абсолютным нулем, лежит ниже нуля по Цельсию на 273° . Не следует, однако, думать, что при этой температуре прекращается всякое движение. Абсолютного покоя природы не знает. Прекращается движение молекул, но при этом будут продолжать двигаться внутри молекул атомы и их составные части.

1-3. КАК УСТРОЕНЫ АТОМЫ И МОЛЕКУЛЫ?

Как уже указывалось выше, молекулы состоят из атомов. Сколько же имеется атомов различных видов, или, как их называют, химических элементов. В настоящее время известны 102 элемента, которые заполняют клетки периодической системы элементов Д. И. Менделеева (см. приложение). Все разнообразие веществ, которые мы видим в окружающем мире, образованы в результате соединения друг с другом в различных комбинациях этих химических элементов (атомов).

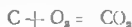
Для удобства написания химического состава различных веществ и их химического взаимодействия между собой в химии приняты условные обозначения каждого элемента, которые образованы из начальных букв латинских названий этих элементов.

Латинский язык, который был первоначально разговорным языком древнего Рима, а затем и всей Римской империи, впоследствии, после распада Римской империи, в средние века продолжал употребляться учеными, а в некоторых науках он охранялся и до настоящего времени. Так, в медицине пользуются латинским языком для названий болезней и лекарств, в ботанике — для названий растений.

При знакомстве с вопросами обработки воды для паровых котлов наиболее часто встречаются следующие одиннадцать химических элементов:

Название элемента	Химическое обозначение	Читается	Название элемента	Химическое обозначение	Читается
Алюминий	Al	алюминий	Магний	Mg	магний
Водород	H	вы	Натрий	Na	натрий
Железо	Fe	феррум	Сер	S	эс
Кальций	Ca	кальций	Углерод	C	це
Кислород	O	о	Хлор	Cl	хлор
Кремний	Si	си			

С помощью этих условных обозначений (символов) химических элементов можно изображать молекулы любых веществ, а также различные химические процессы. Цифра, стоящая справа внизу символа, указывает количество атомов в молекуле. Так, например, упоминавшаяся ранее химическая реакция горения топлива в паровом котле может быть обозначена следующим образом:



углерод кислород углекислый газ

и читается так: це плюс о два равно це о два.

Первоначальные предположения ученых об атоме как о неделимой мельчайшей частице материи оказались неверными. В настоящее время физиками открыты еще более мелкие элементарные частички, из которых построены все атомы. Таких основных частиц имеется три: протоны, нейтроны и электроны¹. Как же построен атом из этих частиц?

В центре каждого атома находится его ядро, состоящее из протонов и нейтронов. Вокруг ядра вращаются на различных расстояниях от него (орбитах) электроны, являющиеся самыми легкими из этих трех видов частиц. Вес электрона равен 10^{-27} г. Протон и нейтрон имеют почти одинаковый вес, примерно в 1850 раз тяжелее электрона. Размеры протонов, нейтронов и электронов

¹ По исследованиям последних десятилетий, помимо этих основных частиц открыто еще много различных мельчайших частиц (позитрон, фотон, нейтрино, мезоны и др.), возникающие при радиоактивных распадах и превращениях материи.

выражаются сотысячными долями ангстрема. Размер же внешней орбиты вращающихся электронов, что и является по существу размером атома в целом колеблется от 1 до 4 А. Следовательно, большая часть объема атома является пустой, не заполненной материей. Но мы не видим не только атомов, но и молекул, и поэтому окружающие нас тела кажутся нам построенными из сплошной материи. Основная масса атома сосредоточена в ядре. Если бы мы могли наполнить 1 см^3 протонами и нейтронами так же плотно, как они находятся в ядрах атомов, то вес такого кубика был бы равен приблизительно весу высочайшей горы Кавказа Эльбрус. Такую плотность имеет материя в недрах некоторых звезд.

Протон и электрон имеют противоположные, но равные по величине электрические заряды: у протона — положительный заряд, у электрона — отрицательный. Нейтроны не имеют электрического заряда. Так как атом в целом нейтрален, то количество вращающихся вокруг его ядра электронов равно количеству протонов в этом ядре. Таким образом, все известные нам различные химические элементы отличаются друг от друга количеством находящихся в их ядрах положительно заряженных протонов и соответственно равным количеством вращающихся вокруг них на разных орбитах электронов. На рис. 1-3 изображены упрощенные схемы строения атомов некоторых элементов.

Атом водорода имеет один электрон, и соответственно этому в его ядре находится один протон. В ядре атома кислорода находятся восемь протонов, и окружают его восемь электронов, из которых два электрона вращаются по внутренней первой орбите, а шесть электронов — по наружной второй орбите. У натрия, имеющего в ядре 11 протонов и столько же электронов, последние распределены по трем орбитам: первая — два электрона (так же, как у атома кислорода), вторая — восемь электронов и третья, наружная, — один электрон. У атома хлора с 17 протонами в ядре имеется: два электрона в первой орбите, восемь электронов на второй орбите (столько же, сколько у кислорода и натрия) и семь электронов на третьей орбите. Установлено, что на каждой орбите может разместиться только определенное предельное количество электронов. Первая орбита, непосредственно окружающая ядро, может вместить только

два электрона, вторая — восемь, третья — восемнадцать, четвертая — тридцать два, пятая — сорок и т. д. При этом каждая следующая орбита может иметь электроны только при условии, что все предыдущие орбиты максимально заполнены. Обнаружено, что все химические свойства элементов определяются расположением его электронов и в первую очередь электронами, находящимися на наружной орбите. Эта зависимость была

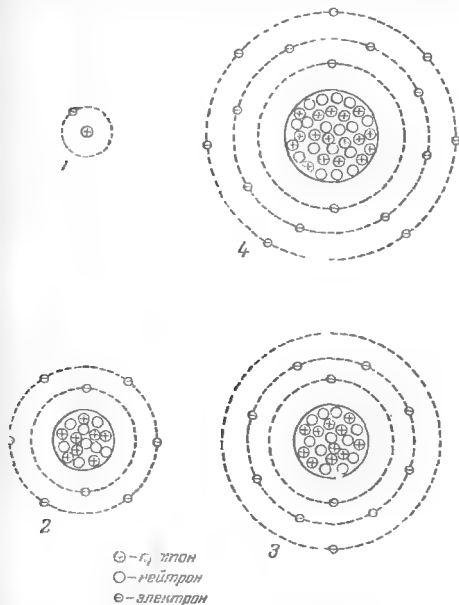


Рис. 13. Упрощенные схемы строения некоторых атомов.
 1 — водород; 2 — кислород; 3 — калий; 4 — хлор.

генально предугадана великим русским ученым Менделеевым в его периодической системе элементов, в которой порядковый номер положения элемента (см. табл. на стр. 226, 227) указывает число электронов в атоме, а в одном и том же столбце таблицы находятся атомы с одинаковым числом электронов во внешней орбите.

Поскольку основная масса атома сосредоточена в ядре, то и вес его приблизительно определяется весом ядра, состоящим из протонов и нейтронов. Вес нейтронов незначительно отличается от веса протонов. Количество нейтронов в ядре атома равно числу протонов или несколько превышает его. Таким образом, вес атома определяется общим числом протонов и нейтронов в ядре и называется поэтому массовым числом атома. В настоящее время определены абсолютные веса различных атомов, они выражаются чрезвычайно малыми величинами. Так, например, если взять даже самый тяжелый атом — урана, то его вес равен всего $0,4 \cdot 10^{-21}$ г. Конечно, иметь дело с такими величинами при расчетах весьма неудобно. Поэтому в химии принята специальная условная мера веса атомов, равная весу самого легкого из них — атома водорода, вес которого принят равным 1,0, и тогда веса всех остальных атомов показывают, во сколько раз они тяжелее атома водорода¹.

Познакомимся теперь вкратце с устройством молекул, т. е. частиц, в которых объединено несколько атомов. В основном существуют два способа образования молекул из атомов. Первый из этих способов основан на возникновении из нейтрального атома электрически заряженной частицы. Мы уже указывали выше, что атом является нейтральным, т. е. число положительных зарядов в его ядре (число протонов) уравновешивается числом отрицательных зарядов, т. е. числом окружающих ядро электронов. Если по каким-либо причинам атом теряет один или несколько электронов, то в его ядре оказывается некоторый избыток положительных зарядов, не уравновешенных отрицательно заряженными электронами, и такой атом становится поло-

¹ В настоящее время за единицу атомных весов принимается $1/16$ атома O веса кислорода, что удобнее, так как при этом атомные веса многих элементов становятся близкими целым числам. Но тогда атомный вес самого водорода оказывается равным 1,008; для грубых подсчетов он может быть приравнен 1,0.

жительно заряженной частицей. Такие электрически заряженные частицы называются ионами. Они и способствуют образованию молекул из атомов.

Изучение свойств различных химических элементов показывает, что во всех случаях являются наиболее устойчивыми те из них, у которых внешняя электронная орбита заполнена целиком, либо содержит наиболее устойчивое число электронов — 8. Это блестяще подтверждает таблица Менделеева, где в нулевой группе расположены наиболее инертные (т. е. устойчивые и не вступающие в химические реакции с другими веществами) элементы. Это, во-первых, гелий, который имеет одну орбиту, заполненную двумя электронами, и газы неон, аргон, криптон, ксенон и радон, которые имеют во внешней орбите восемь электронов. Наоборот, если внешняя орбита атомов имеет всего лишь один-два электрона, то такие атомы имеют склонность отдавать эти электроны другим атомам, у которых во внешней орбите не хватает 1—2 электронов до числа восемь. Такие атомы являются наиболее активными к взаимодействию друг с другом.

Возьмем для примера молекулу поваренной соли, называемой в химии хлористым натрием и образованной, как показывает ее название, из атомов натрия и хлора. У атома натрия на внешней орбите имеется один электрон, а у атома хлора — семь электронов. Если эти два атома приблизятся друг к другу, то один электрон натрия, находящийся на внешней орбите и слабо «привязанный» к своему атому, может оторваться от него и перейти к атому хлора, у которого во внешней орбите он будет восьмым электроном (рис. 1-4,а). В результате такого перехода образуются два иона: положительный ион натрия и отрицательный ион хлора (рис. 1-4,б), притягивающиеся друг к другу и образующие молекулу хлористого натрия, которую можно представить, как два шарика, стянутые пружиной (рис. 1-4,в).

Второй способ образования молекул из атомов состоит в том, что при сближении двух или более атомов находящиеся у этих атомов во внешних орбитах электроны перестраиваются таким образом, что становятся связанными с двумя или несколькими атомами. Электроны же, находящиеся на внутренних орбитах, продолжают оставаться связанными только с данным атомом.

При этом опять-таки имеется стремление образовывать наиболее устойчивые орбиты из восьми электронов. Приведем несколько примеров таких молекул.

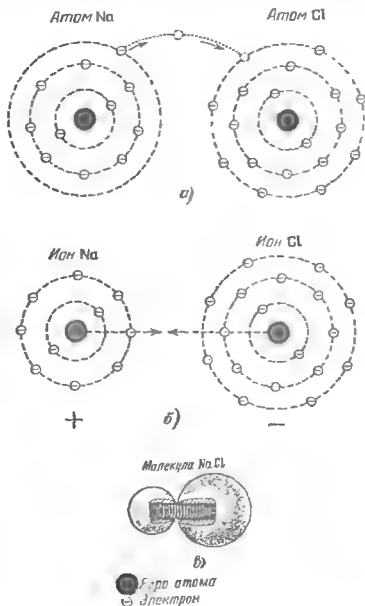


Рис. 1-4. Схема образования молекулы хлористого натрия.

Возьмем молекулу углекислого газа, состоящую из атома углерода и двух атомов кислорода. При образовании этой молекулы происходит следующее перестраивание электронов внешних орбит этих атомов (рис. 1-5).

Атом углерода оставляет связанным со своим ядром два электрона на внутренней орбите, а четыре электрона, находящиеся на его внешней орбите, распределяются по два электрона на каждый атом кислорода, которые в свою очередь отдают каждый по два электрона для общей связи атома углерода. Таким образом, в каждой связи углерод-кислород участвуют взаимно две пары электронов, в результате чего каждый из трех атомов такой молекулы имеет устойчивую внешнюю орбиту, по которой вращаются восемь электронов.

Имеются, как известно, молекулы, не только образованные из различных элементов, но и из одинаковых

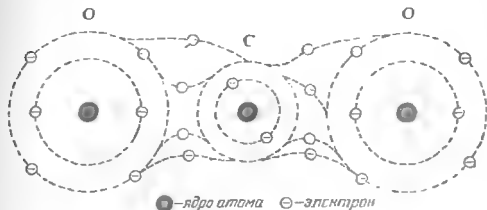


Рис. 1-5. Схема молекулы углекислого газа.

атомов. Образование таких молекул также объясняется стремлением к наиболее устойчивому восьмерному числу электронов во внешней орбите. Так, например, атому кислорода, имеющему два электрона во внутренней орбите и шесть электронов в наружной орбите, не хватает двух электронов для образования восьмерного окружения. Поэтому эти атомы соединяются по два, образуя молекулу кислорода O_2 , в которой по два электрона от каждого атома обобщаются, после чего вокруг них во внешней орбите будет вращаться по восемь электронов.

При образовании молекул по второму способу, когда происходит обмен электронами между атомами, центрам атомов требуется сблизиться более, чем по первому способу, когда происходит только взаимное притяжение противоположно заряженных ионов. Поэтому, если в первом способе можно себе представить такую молекулу

в виде двух соприкасающихся шаров-ионов (рис. 1-4,в), не меняющих свои размеры и форму, то при втором способе шарообразные атомы как бы сплющиваются.

Современные методы исследования строения веществ позволяют не только знать, из каких атомов состоят различные молекулы, но также как располагаются атомы в молекулах, т. е. структуру этих молекул вплоть до расстояний между ядрами атомов, входящих в состав молекул. На рис. 1-6 показаны структуры молекул кислорода и углекислого газа, а также расположение ядер атомов в этих молекулах с указанием межъядерных рас-

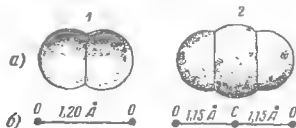


Рис. 1-6. Структуры молекул.

а — расположение атомов; б — расположение ядер атомов;
1 — молекула кислорода O_2 , 2 — молекула углекислого газа CO_2 .

стояний в ангстремах. Молекула кислорода, состоящая из двух атомов, имеет форму двух спрессованных шаров с расстоянием между ядрами атомов $1.20 \text{ \AA}$. Молекула углекислого газа, состоящая из трех атомов, имеет прямую форму с атомом углерода в середине и расположенных по обе стороны от него по прямой линии двух атомов кислорода с межъядерными расстояниями $1.15 \text{ \AA}$.

Что же собой представляет молекула воды? Она состоит из трех атомов: одного атома кислорода и двух атомов водорода. Отсюда ее химическая формула пишется так: H_2O (читается — аш два о). Атомы в этой молекуле расположены не прямолинейно, как в молекуле углекислого газа, а под углом 105° , в вершине которого расположен атом кислорода, а на расстоянии $0.96 \text{ \AA}$ от его ядра находятся по обе стороны атомы водорода (рис. 1-7).

Расположение электронов в молекуле воды, с точки зрения наиболее устойчивого их распределения, представляется следующим образом. Атом водорода имеет одну орбиту с одним электроном. Эта наиболее близко отстоящая от ядра атомов орбита имеет устойчивое состояние при наличии в ней двух электронов. Поэтому атом кислорода, имеющий во внешней орбите шесть электронов, использует два из них для общей связи с каждым атомом водорода, позволяя тем самым иметь этим атомам по два электрона. В свою очередь, единственный электрон каждого атома водорода используется одновременно атомом кислорода. Таким образом, каждая связь кислород — водород осуществляется одной парой электронов, в результате чего около ядра атома водорода вращается два электрона, а около ядра атома кислорода во внешней орбите — восемь электронов (шесть своих и по одному электрону от каждого атома водорода).

Приведенные описания устройства различных атомов и молекул, разумеется, весьма схематичны и далеко не отображают их сложной пространственной структуры. Однако из приведенных примеров видно, что объединение атомов в молекулы различных веществ всегда происходит путем изменения количества и положения электронов, вращающихся преимущественно во внешних орбитах этих атомов. Количество этих электронов является, следовательно, весьма важным показателем, характеризующим те силы, которые вызывают образование химических соединений. Эти силы объединяются под общим названием валентность и определяются числом электронов, участвующих в образовании данного соединения. Так, например, в рассмотренном выше примере образования хлористого натрия NaCl атом натрия, отдавший один электрон со своей наружной орбиты атому хлора, так же как и атом хлора, получивший этот один электрон в свою наружную орбиту, являются равнозначными элементами, причем для натрия его равнозначность является постоянной, так как он имеет в на-



а)



б)

Рис. 1-7. Структура молекулы воды.

а — расположение атомов; б — расположение ядер атомов.

ружной орбите только один электрон. Этого нельзя сказать об атоме хлора, имеющем в наружной орбите семь электронов. Однако в большинстве химических соединений атом хлора является одновалентным, поскольку присоединение к этим семи электронам еще одного электрона является наиболее простым решением для получения устойчивой орбиты из восьми электронов. Поэтому лишь в редких случаях хлор соединяется с другими атомами, отдавая электроны со своей наружной орбиты.

Атом водорода, имеющий только одну орбиту с одним вращающимся на ней электроном, также всегда одновалентен. Атом кислорода, имеющий на внешней орбите шесть электронов, стремится получить еще два электрона для создания устойчивого сочетания из восьми электронов и является двухвалентным элементом. Поэтому, как мы уже видели, кислород соединяется с двумя атомами водорода, образуя молекулы воды H_2O . Углерод, имеющий в наружной орбите четыре электрона, является максимально четырехвалентным, как это видно из рассмотренной выше реакции соединения его с двумя атомами двухвалентного кислорода. При недостатке кислорода сгорание углерода происходит с образованием так называемого угарного газа CO , где углерод является двухвалентным.

Из всего сказанного вытекает основной закон химии — закон постоянства состава, гласящий, что независимо от способа получения данного вещества его состав, т. е. весовые соотношения входящих в него элементов, остаются всегда одними и теми же. Эти весовые соотношения должны, как мы видели, соответствовать валентностям этих элементов. Соединительные веса называют в химии эквивалентами и определяют их как число весовых частей вещества, соединяющегося с одной весовой частью одновалентного водорода, имеющего атомный вес 1,0, или с восемью весовыми частями двухвалентного кислорода, имеющего атомный вес 16,0. Таким образом, валентность элемента можно определять путем деления его атомного веса на эквивалентный вес. В табл. 1-1 для одиннадцати химических элементов, с которыми нам чаще всего придется встречаться, приведены значения рассмотренных выше характерных для них величин.

Таблица 1-1

**Характеристика наиболее часто встречающихся в
водоподготовке химических элементов**

Название элемента	Химическое значение	Атомный вес	Порядковый но- мер в таблице Менделеева	Число электронов в наружной орби- те	Валентность	Эквива- лентный вес
Алюминий	Al	27,0	13	3	3	9,0
Водород	H	1,0	1	1	1	1,0
Железо	Fe	56,0	26	2	2 и 3	28 и 18,7
Кальций	Ca	40,1	20	2	2	20,0
Кислород	O	16,0	8	6	2	8,0
Кремний	Si	28,1	14	4	4	7,0
Магний	Mg	24,3	12	2	2	12,2
Натрий	Na	23,0	11	1	1	23,0
Сера	S	32,1	16	6	2*	16,0
Углерод	C	12,0	6	4	4	3,0
Хлор	Cl	35,5	17	7	1**	35,5

* В некоторых соединениях валентность серы 4 и 6.

** В некоторых соединениях валентность хлора 3, 5 и 7

Заканчивая этот параграф, напомним читателю кратко об основах классификации неорганических химических соединений¹.

Все химические элементы можно разделить на две основные группы: 1) металлы, 2) металлоиды (т. е. неметаллы).

К металлам относятся элементы, которые при различных реакциях стремятся преимущественно к отдаче своих электронов (натрий, магний, кальций и др.), а к металлоидам — элементы, которые стремятся к присоединению электронов (хлор, сера и др.). Однако резкой грани между этими двумя группами нет, так как многие элементы в зависимости от условий могут изменять свои преимущественные тенденции, т. е. вместо

¹ Так называемая неорганическая химия изучает преимущественно химические элементы и их соединения за исключением соединений углерода. Углерод в отличие от остальных элементов отличается большим разнообразием и многочисленностью образуемых с его участием химических соединений, количество которых исчисляется сотнями тысяч. Поэтому органические соединения выделены в особую область, называемую органической химией.

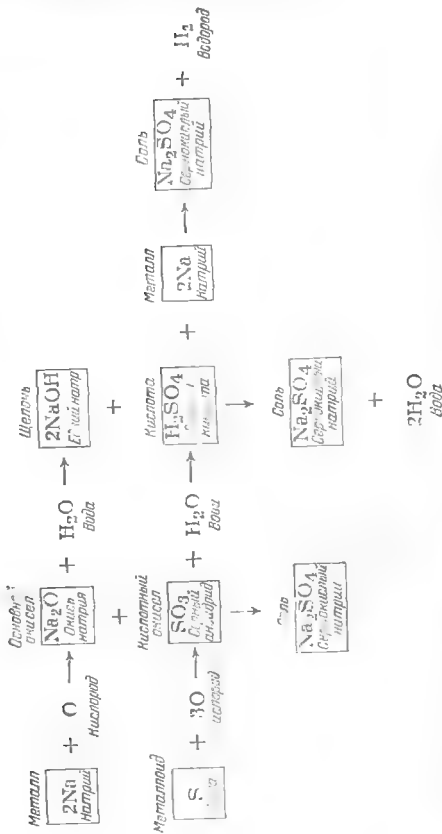


Рис. 1-8 Схема классификации неорганических химических соединений.

отдачи электронов присоединять их (примечание к табл. 1-1). Сложные вещества, образующиеся из разных элементов, можно разбить на следующие четыре основные группы, характеризующиеся некоторыми общими свойствами: 1) окислы, 2) кислоты, 3) основания и 4) соли.

Окислы — соединения элементов с кислородом. Основания или гидраты окислов металлов — продукты взаимодействия окислов металлов с водой; характеризуются наличием в молекуле гидроксильной группы OH . Кислоты — соединения с водой окислов металлоидов; характеризуются наличием в молекуле атома водорода, способного замещаться металлами¹. Соли — соединения, образующиеся при замене водорода кислоты металлом и получающиеся как путем непосредственного вытеснения металлом водорода кислоты, так и в результате взаимодействия окислов, кислоты с окислами и др. Эта классификация неорганических соединений схематически представлена на рис. 1-8, где в качестве примера взяты два элемента: металл натрий Na и металлоид сера S . Основания одновалентных металлов называют щелочами. При взаимодействии кислоты со щелочью образуются соль и вода (рис. 1-8). Эту реакцию называют реакцией нейтрализации.

В табл. 1-2 приведены наиболее часто встречающиеся в водоподготовке соединения (основания и соли), образованные путем соединения указанных в табл. 1-1 химических элементов в соответствии со схемой на рис. 1-8.

1-4. ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ

Химически чистой воды, состоящей только из молекул H_2O , в природе не существует, и объясняется это тем, что вода является хорошим растворителем для многих веществ, в результате чего природная вода всегда содержит в себе различные посторонние примеси. Но прежде чем перейти к рассмотрению характера этих примесей и источников их попадания в воду, необходимо хотя бы кратко познакомиться с растворами и в первую очередь с водными растворами.

¹ Существуют кислоты, не образующиеся из окислов и не содержащие в своем составе кислорода, например соляная кислота HCl .

**Основания и соли, наиболее часто встречающиеся в
водоподготовке**

Химическое обозначение	Как читается	Химическое название	Употребительное техническое название
Основания			
NaOH	Натрий о аш	Едкий натр	Каустическая сода
Ca(OH)_2	Кальций о аш дважды	Гидрат окиси кальция	Гашеная известь
Mg(OH)_2	Магний о аш дважды	Гидрат окиси магния	
Al(OH)_3	Алюминий о аш трижды	Гидрат окиси алюминия	
Fe(OH)_2	Феррум о аш дважды	Гидрат закиси железа	
Fe(OH)_3	Феррум о аш трижды	Гидрат окиси железа	

Соли угольной кислоты

а) Бикарбонаты¹

NaHCO_3	Натрий аш це о три	Бикарбонат натра, дву-углекислый натр	Питьевая сода
$\text{Ca(HCO}_3)_2$	Кальций аш це о три дважды	Бикарбонат кальция, дву-углекислый кальций	
$\text{Mg(HCO}_3)_2$	Магний аш це о три дважды	Бикарбонат магния, дву-углекислый магний	
$\text{Fe(HCO}_3)_2$	Феррум аш це о три дважды	Бикарбонат железа, дву-углекислое железо	

а) Карбонаты²

Na_2CO_3	Натрий два це о три	Карбонат натрия, углекислый натрий	Кальцинированная сода
CaCO_3	Кальций це о три	Карбонат кальция, углекислый кальций	Известняк, мрамор ³
MgCO_3	Магний це о три	Карбонат магния, углекислый магний	

Соли серной кислоты—сульфаты

Na_2SO_4	Натрий два эс о четыре	Сернокислый натрий, сульфат натрия	Глауберова соль
CaSO_4	Кальций эс о четыре	Сернокислый кальций, сульфат кальция	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

¹ Соли, образованные путем замещения металлом одного атома угольной кислоты.

² Соли, образованные путем замещения металлом двух атомов угольной кислоты.

³ Горная порода, образовавшаяся из известняка в земной коре под действием высокой температуры и давления.

Химическое обозначение	Как читается	Химическое название	Употребительное техническое название
$MgSO_4$	Магний эс о четыре	Серникоислый магний, сульфат магния	Горькая (английская) соль $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$
$FeSO_4$	Феррум эс о четыре	Серникоислая закись железа	Железный купорос $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$
$Al_2(SO_4)_3$	Алюминий дэ эс о четыре трижды	Серникоислый алюминий, сульфат алюминия	Глинозем серникоислый $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$

Соли соляной кислоты — хлориды

$NaCl$	Натрий хлор	Хлористый натрий	Поваренная соль
$CaCl_2$	Кальций хлор два	Хлористый кальций	
$MgCl_2$	Магний хлор два	Хлористый магний	

Соли кремниевой кислоты — силикаты

Na_2SiO_3	Натрий два си о три	Кремнекислый натрий, силикат натрия	Жидкое стекло (водный раствор)
$CaSiO_3$	Кальций си о три	Кремнекислый кальций, силикат кальция	
$MgSiO_3$	Магний си о три	Кремнекислый магний, силикат магния	

К растворам в широком смысле слова относят такие системы, когда молекулы одного или нескольких веществ (называемых растворенными) равномерно распределены между молекулами другого вещества (называемого растворителем), при этом соотношение между количествами этих веществ могут меняться в широких пределах без нарушения однородности системы. Растворы могут быть жидкими, твердыми (сплавы металлов) и газообразными (например, воздух).

Таким образом, растворы не имеют определенного постоянного состава, что является обязательным признаком химического соединения. С другой стороны, как будет показано ниже, молекулы растворенных веществ могут образовывать непрочные соединения с молекулами растворителя, и, следовательно, растворы не могут быть отнесены к простым механическим смесям, а являются системами промежуточными между химическими соединениями и механическими смесями.

При изучении технологических процессов обработки воды для паровых котлов и нужд промышленности нам придется преимущественно встречаться с растворами в воде твердых и газообразных веществ. Познакоимся сначала с процессом растворения в воде твердых веществ, для чего обратимся опять к нашему стакану воды и посмотрим, что будет происходить, если мы всыплем в него ложку поваренной соли.

Находящиеся в непрерывном движении молекулы воды при столкновении с кристалликами соли будут как бы срывать с их поверхности отдельные молекулы соли, которые, попав в воду, начнут беспорядочное движение, подобно молекулам воды. При этом, однако, они будут стремиться распределиться равномерно во всем объеме воды. Это свойство веществ называется диффузией, и, поскольку оно тесно связано с процессом растворения, необходимо остановиться на нем несколько подробнее.

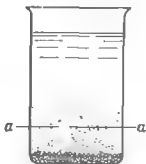


Рис. 1-9. Диффузия молекул соли в воде.

Диффузией называют свойство вещества распространяться в какой-либо среде, т. е. стремление его проникнуть оттуда, где оно есть, туда, где его нет, причем этот процесс происходит исключительно за счет теплового беспорядочного движения молекул среды. Представим себе, что непосредственно около дна стакана образовался некий слой воды, содержащий молекулы хлористого натрия. Обозначим их условно точками, как это изображено на рис. 1-9, при этом этих молекул будет, естественно, особенно много непосредственно около поверхности кристаллов соли, далее, по мере удаления вверх, их число должно быть меньше. Как же себя будут вести эти молекулы соли? Ведь, как мы уже знаем, их движение, обусловленное беспорядочным движением молекул воды, будет таким же беспорядочным и, следовательно, они будут продвигаться в воде в самых различных направлениях — иногда вниз, иногда вверх, а иногда в сторону или папскось. Однако, как это ни может показаться на первый взгляд странным, несмотря на совершенно беспорядочное движение молекул соли, будет

происходить постепенное закономерное движение их вверх и вместе с более вышесказанной тенденцией в месте с более низкой концентрацией пока, на онц, молекулы соли не распространятся равномерно во всем объеме находящейся в стакане воды.

Для объяснения причины этого как будто неожиданного процесса, но сего название диффузии, рассмотрим, что будет происходить с молекулами соли на границе условно взятого в стакан сечения $a-a$ (рис. 1-9). Процесс диффузии не связан с какой-либо силой, которая якобы заставляет молекулы соли передвигаться вверх, т. е. в область с меньшей их концентрацией в воде. Каждая молекула соли ведет себя независимо от других молекул соли, с которыми она встречается очень редко. Каждая молекула соли, где бы она ни находилась ниже сечения $a-a$ или выше его, испытывает непрерывные толчки со стороны молекул воды, в результате которых она может продвигаться вниз от этого сечения или вверх от него. Но тут вступает в силу теория вероятностей и ее основной закон больших чисел, широко применяемый в настоящее время естественными науками (и в первую очередь физикой и химией) при изучении свойств тел, состоящих из огромного числа отдельных частиц (молекул, атомов, ионов и др.).

Точность статистического закона больших чисел повышается по мере увеличения количества участвующих в данном явлении частиц и, наоборот, снижается с их уменьшением, вплоть до того, что при некотором их числе этот закон становится неприменимым и мы переходим в область чистой случайности. Для пояснения этого можно прибегнуть к простому общедоступному опыту. Возьмем два одинаковых по размеру, но разных по расцветке шарика: белый и черный. Положим их в какую-нибудь урну или просто в шапку и будем по ледователю вынимать один из этих шариков, каждый раз возвращая обратно вынутый шарик. Поскольку шарик одинакового размера, по идее, имеется одинаковая возможность для каждого из них быть вынутым из урны. Но эта одинаковая возможность будет выявляться все в большей степени по мере увеличения числа опытов. Если мы проведем два-три или даже пять опытов, то возможно, что 2, 3 или даже 5 ра-

будет вынут только белый или только черный шарик. Но для ста опытов такая вероятность становится невозможной, количество вынутых белых и черных шариков будет приближаться к пятидесяти. При этом закон вероятности утверждает, что неточность, с какой мы можем определить среднее число случаев, в которых наступает данное явление, равно корню квадратному из количества этих случаев, т. е. $\sqrt{n}$, где n — число случаев. Так, в нашем примере, при количестве опытов, равном ста, отклонение от равной возможности вынуть черный или белый шарик будет равно $\sqrt{100}$, т. е. 10, так как $10^2=100$. Следовательно, мы можем ожидать, что при 100 опытах будет вынуто 40, т. е. $(50-10)$, или 60, т. е. $(50+10)$, черных шариков. В этих пределах, т. е. от 40 до 60, возможны колебания количества вынутых черных (или белых) шариков. Отклонения за эти пределы будут весьма редки. Таким образом, неточность этого закона при 100 случаях составляет 10%. Но если $n=1\,000\,000$, то отклонение будет равно $\sqrt{1\,000\,000}=1\,000$, т. е. число вынутых черных (или белых) шариков будет колебаться между 499 000 и 501 000 раз и относительная ошибка составит уже только 0,1% $\left(\frac{1\,000 \cdot 100}{1\,000\,000} = \frac{1}{10}\right)$.

Вернемся теперь к нашему стакану с водой и растворенными в ней молекулами соли. Согласно теории вероятности возможности продвижения молекул соли вниз или вверх от сечения $a-a$ будут одинаковы в силу того, что каждую молекулу соли окружает огромное количество молекул воды, от которых она испытывает колоссальное число толчков как вверх, так и вниз. Но если все молекулы соли, находящиеся в стакане воды около сечения $a-a$, будут с одинаковой вероятностью перемещаться как вверх, так и вниз от этого сечения, то именно поэтому молекулы соли чаще будут пересекать сечение $a-a$ снизу вверх, чем сверху вниз, поскольку ниже этого сечения концентрация молекул соли больше, чем над ним. Такое преимущественное перемещение вверх молекул соли будет происходить до тех пор, пока не наступит равномерное распределение их во всем объеме воды.

Одновременно с процессом растворения соли происходит обратный процесс ее кристаллизации, так как

в результате беспорядочного движения молекул соли некоторые из них, находящиеся вблизи поверхности кристаллов соли, при столкновении с нею могут задержаться на ней, восстанавливая, таким образом, частично разрушенный в результате процесса растворения кристалл. Очевидно, что такая возможность обратного процесса будет возрастать по мере возрастания концентрации раствора. Но по мере того как мы будем всыпать в наш стакан еще порции поваренной соли, наступит момент, когда растворение ее как бы прекратится, т. е. когда скорость обоих процессов (растворения и кристаллизации) сравняется, при этом в единицу времени будет столько же молекул переходить в раствор, сколько их выделится на кристаллах соли. Растворы, имеющие такую предельную концентрацию растворенного вещества, называют насыщенными растворами. При достижении такого состояния в нашем стакане наступит так называемое динамическое равновесие между твердой солью и ее насыщенным раствором в воде, в результате которого нам будет казаться, что процесс растворения прекратился.

Чтобы убедиться в том, что в насыщенных водных растворах прекращаются процессы растворения твердого вещества в воде и обратного его выделения из воды, достаточно провести следующий опыт. После получения в нашем стакане насыщенного раствора хлорида натрия добавим в него некоторое количество кристаллов этой соли, содержащих радиоактивный натрий. Тогда уже через несколько минут мы обнаружим с помощью специального счетчика (Гейгера—Мюллера), что в растворе появились радиоактивные атомы натрия, причем количество их будет постепенно нарастать, достигнув через несколько десятков минут наибольшего значения. Этот опыт убедительно показывает, что в насыщенном растворе все время идет обновление кристаллов, т. е. переход молекул хлористого натрия с поверхности кристалла в насыщенный раствор и переход на их место молекул соли из раствора.

Процесс диффузии в растворах протекает относительно медленно, вследствие чего слой воды, непосредственно прилегающий к кристаллам соли, быстро становится насыщенным, после чего дальнейшее растворение происходит только по мере того, как из этого слоя диффундируют вверх растворенные молекулы соли. Таким образом, процесс растворения соли быстро спадает и протекает так же медленно, как и диффузия растворенных молекул соли. Поэтому для ускорения растворения

приближают к искусственному ускорению диффузии путем перемешивания раствора.

Растворение газов в воде происходит в основном аналогично растворению твердого тела, с тем лишь отличием, что проникновение в воду молекул твердого тела происходит путем отрыва их молекулами воды от кристаллов соли, находящихся в воде, а попадание в воду молекул газообразного вещества осуществляется в результате их беспорядочного движения над поверхностью воды, в результате чего некоторые из них попадают непосредственно на поверхность воды и, подвергаясь действию притягательных сил молекул воды, втягиваются внутрь. Это втягивание молекул газа внутрь воды и является одним из существенных моментов процесса растворения газов в воде.

Дальнейшая судьба попавших в глубь воды молекул газа аналогична поведению растворенных молекул соли, которые, испытывая различные столкновения с окружающими их молекулами воды, совершают также беспорядочные движения. Некоторые молекулы газа в результате этого движения между молекулами воды могут вновь очутиться на ее поверхности. При благоприятном толчке этой молекулы по направлению к поверхности воды она может даже улететь из воды, или, очутившись на поверхности воды, эта молекула газа может освободиться в результате удачного толчка, который она получает от какой-либо подлетевшей другой молекулы газа, в противном случае эта молекула газа вновь будет втянута в глубь воды.

Таким образом, если мы имеем воду и находящийся над ней какой-либо газ, например кислород, то будут происходить одновременно два противоположных процесса: проникновение молекул кислорода в воду, т. е. его растворение в воде, и обратный процесс — вылетание молекул кислорода из воды. По мере того как количество растворенных в воде молекул кислорода будет возрастать, будет соответственно уменьшаться возможность для некоторых из них вырваться из воды. Наконец наступит момент, когда количество попадающих в воду молекул кислорода станет равным числу уходящих из воды молекул кислорода. Следовательно, наступит аналогично системе кристаллы соли — насыщенный раствор так называемое динамическое равновесие, при

к терм процесс растворения кислорода в воде хотя и будет продолжаться, но количество молекул газа в воде будет неизменным.

Однако имеется и существенное отличие между системой *кристаллы соли — насыщенный раствор* ее в воде и системой *газ — раствор газа* в воде. Дело в том, что максимальное количество молекул газа в нашем случае — кислорода, которое может быть растворено в воде, будет тем больше, чем больше этих молекул будет находиться над поверхностью воды и, следовательно, чем больше будет создаваться благоприятных столкновений молекул газа с водой и проникновение их в глубь ее. В самом деле, вернемся к нашей системе кислород — раствор кислорода в воде, когда в ней наступило динамическое равновесие. Что произойдет, если мы каким-либо путем увеличим количество находящегося над раствором кислорода, т. е. если мы увеличим количество молекул кислорода в единице объема пространства, находящегося над раствором? Тогда количество молекул кислорода, попадающих в раствор, увеличится, в то время как количество молекул, вылетающих из него, остается пока еще тем же. Следовательно, динамическое равновесие нарушится и начнется дальнейшее растворение молекул кислорода, пока в результате увеличения их в воде не наступит новое динамическое равновесие, которое будет отличаться от первого тем, что количество растворенных в воде молекул кислорода увеличится.

Итак, мы установили связь между количеством кислорода в единице объема над раствором и растворимостью кислорода в воде. Но согласно молекулярно-кинетической теории давление газа, производимое им на стенки сосуда, в котором он находится, прямо пропорционально числу молекул в единице объема, т. е. чем больше молекул газа в единице объема, тем чаще эти молекулы будут ударяться о стенки сосуда, и, следовательно, тем большее давление они будут пытаться оказывать. Отсюда можно сказать, что растворимость газа прямо пропорциональна его давлению. Эта связь между давлением газа и его растворимостью называется законом Генри — Дальтона.

Практически в большинстве случаев мы будем иметь дело не с одним каким-либо газом, а со смесью несколь-

ких газов, и прежде всего с воздухом, представляющим собой смесь азота, кислорода, углекислого газа и др. Как в этих условиях будет происходить растворение их в воде? Совершенно очевидно, что вероятность проникновения молекул кислорода в воду будет, как и прежде, тем больше, чем больше этих молекул будет в единице объема пространства над водой, независимо от количества молекул других газов, т. е. опять будет действовать тот же закон Генри — Дальтона. Но давление смеси газов складывается из давлений отдельных газов, определяемых соответственно числом молекул каждого газа. При этом доля общего давления такой смеси газов, приходящаяся на отдельный газ, называется его парциальным давлением. Следовательно, обобщая закон Генри — Дальтона и для смеси газов, можно сказать, что растворимость газов пропорциональна их парциальному давлению.

Познакомимся коротко с вопросом о влиянии на растворимость температуры. Для водных растворов твердых веществ в подавляющем большинстве случаев при повышении температуры растворимость более или менее увеличивается (вещества с положительным коэффициентом растворимости). Однако некоторые вещества имеют отрицательный коэффициент растворимости, т. е. их растворимость в воде с повышением температуры понижается. К таким веществам, в частности, относятся гидрат окиси кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и сернокислый кальций CaSO_4 *.

При повышении температуры в системе газ и его раствор в воде будет происходить, как мы уже знаем, увеличение интенсивности движения молекул, т. е. повышение числа быстрых молекул, что в свою очередь будет иметь два следствия. С одной стороны это будет способствовать увеличению числа молекул газа, проникающих в воду, в то же время будет расти число молекул, могущих вырваться из воды. В конечном итоге это приведет к понижению растворимости газа. Над водой всегда находится смесь газов, в том числе и некоторое количество паров воды. При нагревании воды количество паров воды над ней начинает возрастать, за счет чего уменьшается количество остальных газов, а следовательно, уменьшается и их парциальное давление, вследствие

* Начиная с температуры 110°C и выше

чего растворимость остальных газов в воде заметно уменьшается, и тем больше, чем ближе температура воды к точке ее кипения. При кипении над водой будет, по существу, находиться только один газ — пары воды, и, следовательно, парциальное давление других газов будет близким к нулю. Поэтому при кипении воды все растворенные в ней газы практически полностью удаляются.

Количество растворенного вещества, находящегося в единице объема или веса растворителя, называют концентрацией растворов. Концентрацию водных растворов выражают обычно количеством граммов растворенного вещества в 1 л воды и обозначают сокращенно г/л, или в 1 м³ воды — г/м³, а для малорастворимых веществ — в миллиграммах растворенного вещества, т. е. мг/л. Выражают также концентрацию растворов в процентах, чаще в весовых процентах, т. е. указывают, сколько весовых частей безводного вещества растворяется в 100 весовых частях растворителя или сколько весовых частей безводного вещества растворено в 100 весовых частях раствора.

В химии воды имеет распространение удобная мера концентрации веществ, выражаемая количеством граммов или миллиграммов вещества в 1 л раствора, численно равная его эквивалентному весу и сокращенно обозначаемая соответственно г-экв/л или мг-экв/л. Эта мера концентрации удобна тем, что химические элементы соединяются между собой в эквивалентных количествах.

Растворимостью данного вещества в воде называют предельное количество этого вещества, которое может быть растворено в воде при данных условиях, т. е. когда этот раствор становится насыщенным. Поэтому растворимость всякого вещества определяется величиной концентрации его насыщенного раствора.

1-5. ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ДИССОЦИАЦИЯ

Знакомство с водными растворами нельзя признать полным и достаточным для ясного представления о происходящих в воде процессах, если не рассмотреть весьма интересное явление, имеющее существенное значение при всех химических взаимодействиях веществ, происходящих в водных растворах. Это явление, носящее название электролитической диссоциации (разложения, расщепления), было впервые сформулировано в виде стройной теории шведским ученым Аррениусом и заключается

в том, что молекулы солей, оснований и кислот при растворении их в воде распадаются на электрически заряженные атомы, т. е. ионы, чем и объясняется способность таких растворов пропускать электрический ток¹. Дело в том, что процессы растворения в воде твердых веществ не ограничиваются тем, что их кристаллическая решетка разрушается и ее «обломки» молекулы распределяются между молекулами воды. Оказывается, в большинстве случаев действие молекул воды заходит еще дальше и вызывает расщепление (диссоциацию) на ионы попавших в их среду молекул растворенного вещества.

Каким образом происходит разрыв молекул на ионы?

Как упоминалось выше, все атомы и образованные из них молекулы устроены таким образом, что составляющие их частицы с противоположными электрическими зарядами (протоны и электроны) взаимно уравновешивают друг друга, благодаря чему атом или молекула являются электрически нейтральными частицами. Однако, несмотря на нейтральность молекул, их структура в большинстве случаев такова, что образующие их положительные ядра атомов (протоны) и отрицательные электроны расположены внутри молекулы неравномерно, т. е. в какой-то ее части будут преобладать положительные заряды, а в другой соответственно — отрицательные заряды. В простейшем (преобладающем) случае такая молекула, являющаяся в целом нейтральной, будет иметь два полюса с противоположными зарядами. Такие молекулы называют диполями. К такого рода молекулам относятся молекулы воды, а также большинство молекул, построенных путем превращения в ионы составляющих их атомов (см. выше).

Когда в результате процесса растворения молекула какого-либо вещества, например хлористого натрия, состоящая из двух взаимнопритянутых друг к другу ионов, положительного иона натрия Na^+ и отрицательного иона хлора Cl^- (см. рис. 1-10,а), будет оторвана от кристалла соли и очутится в среде молекул воды, представляющих собой диполи, последние, в зависимости от их расположения, начнут вследствие взаимного притя-

¹ Слово «ион» по-гречески значит «идущий», т. е. передвигающийся в растворе при пропускании через него электрического тока.

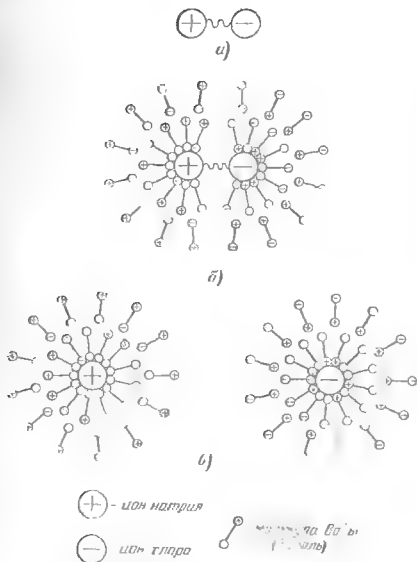


Рис. 1-10. Механизм электролитической диссоциации.
а — молекула растворенного в воде хлористого натрия; б — схема взаимодействия молекулы воды на молекулу хлористого натрия; в — гидратированные ионы натрия и хлора.

жения противоположно заряженных полюсов молекул воды и молекул соли поворачиваться (ориентироваться) и притягиваться к диполью хлористого натрия, как это схематически показано на рис. 1-10,б. В результате этого процесса около обоих ионов начнут собираться все в большем количестве молекулы воды, пока наконец силы, притягивающие ионы соли к молекулам воды, приведут к такому ослаблению связи этих ионов в молекуле соли, что последние под действием молекуляр-

ного движения начнут отделяться друг от друга. При этом в растворе образуются положительные и отрицательные ионы диссоциированных (распавшихся) молекул соли, окруженные притянутыми к ним молекулами воды (рис. 1-10, в). Такие окруженные молекулами воды ионы носят название гидратированных ионов, а сам процесс их окружения молекулами воды называют гидратацией ионов.

Что же будет происходить далее с образованными гидратированными ионами? Поскольку они имеют различные заряды (рис. 1-10, в), то возможно при встрече противоположно заряженных ионов их соединение в молекулы. Таким образом, и здесь, так же как это отмечалось при рассмотрении процессов растворения, будет наступать момент динамического равновесия, когда оба эти процесса — электролитическая диссоциация и соединение ионов в молекулы (моляризация) — будут происходить с одинаковой скоростью, т. е. в единицу времени будет столько же молекул соли распадаться на ионы, сколько из этих ионов будет вновь образовываться тех же молекул соли.

Если мы будем каким-либо образом, например путем выпаривания, увеличивать концентрацию растворенной соли и образованных из нее гидратированных ионов, то при достижении концентрации насыщения данной соли начнется выделение из раствора ее кристаллов, в которых будут находиться гидратированные ионы. При этом, если связь иона с окружающими его молекулами была достаточно прочна, то этот ион войдет в состав кристалла вместе с некоторым количеством молекул воды, которую в этом случае называют кристаллизационной водой, а сами кристаллические образования, содержащие в своем составе воду, называют кристаллогидратами. Состав кристаллогидратов обозначают, указывая при формуле вещества число молекул кристаллизационной воды, приходящихся на одну его молекулу. Например, формула кристаллогидрата железного купороса будет: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (см. также табл. 1-2).

Количественная характеристика электролитической диссоциации какого-либо вещества определяется так называемой степенью диссоциации, т. е. отношением количества молекул соли, распавшихся на ионы, к общему количеству растворенных в воде молекул этой соли. Обыч-

по эту величину выражается в процентах, указывая, следовательно, какое количество из 100 растворенных молекул соли распадается на ионы.

Степень электролитической диссоциации зависит от концентрации раствора. При увеличении концентрации раствора создаются условия, благоприятствующие образованию молекул, так как вследствие большого количества ионов в единице объема раствора их взаимные встречи и столкновения будут происходить чаще, и, следовательно, в крепких растворах степень диссоциации будет уменьшаться. Наоборот, при уменьшении концентрации раствора по тем же соображениям степень электролитической диссоциации возрастает, и в сильно разбавленных растворах значительное большинство растворенных молекул диссоциировано.

Ионы обозначаются теми же условными знаками, что и атомы и молекулы, но при этом указывается характер заряда иона (положительный или отрицательный) и его величина наверху справа от обозначения иона. Ионы с положительным зарядом называют катионами, а с отрицательным зарядом — анионами¹. Ниже написаны для примера несколько электролитов из приведенных выше, в табл. 1-2, и ионы, на которые они распадаются в водном растворе:



¹ Английский физик Фарадей, создавший основы электрохимии, для обозначения противоположности направлений, в которых движутся частицы, ввел для погруженных в электролит проводников названия: положительный электрод — анод, отрицательный электрод — катод, от греческих слов «ана» вверх, «ката» — вниз и «адос» — путь. Отсюда ионы с положительным зарядом, идущие к отрицательному электроду, получили название катионы, а ионы с отрицательным зарядом, идущие к положительному электроду, — анионы.

Знак $\pm$ показывает обратимость процесса диссоциации. Величина заряда иона показывает число отданных или полученных им электронов, что, как мы уже знаем, определяет и валентность атома в данном соединении. При этом понятие валентности в этих условиях может относиться не только к отдельным элементам, но и к их объединениям, образующим отрицательные ионы. Так, в приведенных примерах мы видим, что ион OH^- является одновалентным, и поэтому для трехвалентного алюминия необходимо три таких иона, а ион SO_4^{2-} — двухвалентен, и поэтому в сернокислом натрии ему противостоят два одновалентных иона натрия.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ ВОД

2-1. ЕСТЕСТВЕННЫЙ КРУГООБОРОТ ВОДЫ В ПРИРОДЕ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

Для того чтобы закончить наше знакомство с поступающим на водоподготовительную установку сырьем, называемым природной водой, остается выяснить, какими путями и какие посторонние примеси попадают в природную воду. Ответы на эти вопросы можно получить, рассмотрев тот замкнутый оборот, который совершает вода на Земле.

В результате испарения с поверхности океанов, морей, рек, озер и пр. под действием лучистой энергии солнца огромные количества воды (около 400 тыс. км³ в год) постоянно переходят в атмосферу в виде пара. Попадая в верхние, более холодные слои воздуха, водяные пары сгущаются в мелкие капельки величиной не более 0,01 мм, после чего они становятся для нас видимыми, образуя туман и облака¹. Последние благодаря незначительности размеров капелек воды не падают на землю под действием силы тяжести, а долго плавают в атмосфере и уносятся воздушными течениями далеко от места их образования.

Когда облака поднимаются в очень холодные слои воздуха, мелкие капельки воды начинают замерзать. Образующиеся кристаллики льда постепенно укрупняются

¹ Из одного см³ воды может получиться таких капелек несколько миллиардов.

ся за счет соседних капелек воды и, становясь тяжелыми, падают вниз. При этом в зависимости от температуры и толщины нижележащих слоев воздуха кристаллики выпадают на землю в виде града, снега, или тают, образуя дождевые капли.

Дождевая вода является наиболее чистой из всех природных вод, но и она всегда содержит в себе некоторое количество различных примесей. Дождевая капля уже при ее возникновении не является чистой водой, так как конденсация водяных паров происходит преимущественно на пылинках и мельчайших кристалликах солей, попадающих в воздух в результате испарения брызг волн морей и океанов. Далее, проходя через атмосферу, дождевая вода растворяет некоторую часть содержащихся в воздухе газов (кислород, азот, углекислый газ) и увлекает с собой взвешенные в воздухе частицы пыли.

Часть выпадающей на землю воды вновь испаряется, часть попадает в реки, а оттуда в моря и океаны, а оставшаяся вода просачивается сквозь почву и, достигая водонепроницаемого слоя (глины, гранита и др.), образует подземные воды, которые частично выходят вновь на поверхность земли в виде ключей и родников, вливаясь в ручьи, реки и моря и вновь испаряясь.

Подземные воды содержат значительные (по сравнению с дождевой водой) количества растворенных минеральных примесей в виде различных солей, которые растворяет дождевая вода, просачиваясь через почву. В то же время, фильтруясь через почву, подземные воды почти всегда прозрачны и не содержат взвешенных веществ. Химический состав подземных вод, получаемых из колодцев и артезианских скважин, не подвергается заметным изменениям на протяжении года.

Поверхностные речные воды (а также озерные и прудовые) характеризуются изменчивостью своего состава, происходящей в результате жизнедеятельности находящихся в воде растительных и животных организмов, а главным образом весенних паводков и дождей, смывающих с берегов значительные количества частиц почвы. Наконец, вблизи населенных пунктов на состав речной воды нередко оказывает значительное влияние спуск сточных вод и отходов промышленных предприятий. Состав растворенных в поверхностных во-

дах солей определяется в основном характером почв, по которым текут реки и впадающие в них ручьи и грунтовые воды

Наибольшее количество солей содержит вода морей и океанов. В то время как общее солесодержание атмосферной (дождевой) воды не превышает 50 мг/л, а подземных и поверхностных вод колеблется в среднем в пределах 200—1 500 мг/л, солесодержание морских вод доходит до 15 000—20 000 мг/л, а вода океанов содержит в среднем 35 000 мг/л.

Долголетние наблюдения за солесодержанием вод океанов не обнаруживают в них никаких изменений. Океанские воды резко отличаются от солевого состава речных вод. В морях и океанах преобладают хлориды, составляющие около 90% всех солей, а карбонаты всего лишь 0,3%. В речных же водах, наоборот, преобладают карбонаты, составляющие в среднем 60% в их солей, а хлориды только 5%.

Причина такого различия в солевом составе вод рек и океанов еще не выяснена полностью. Соленость вод океанов имеет очень древнее происхождение и связана с периодом их образования. Приносимые в моря и океаны соли речных вод и, в частности, карбонаты потребляются живущими в океанских водах животными на построение их раковин и скелетов. Этим объясняется незначительная концентрация карбонатов в морях и океанах. Вообще же опресняющее влияние рек на общее солесодержание вод морей и океанов весьма незначительно, если учесть, что реки приносят в них только 30 000 км³ пресной воды в год, в то время как объем всей воды мирового океана равен почти 2 млрд. км³.

2-2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИМЕСЕЙ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

Содержащиеся в природных водах примеси могут находиться в различном состоянии в зависимости от степени размельчения вещества, т. е. в зависимости от величины отдельных его частиц. По этому признаку различают три группы примесей в природных водах:

- а) взвешенные вещества;
- б) коллоидно-растворенные вещества;
- в) истинно-растворенные вещества.

К взвешенным веществам относятся грубо раздробленные вещества, имеющие размер частиц более 0,1 мк. В природных водах взвешенные вещества присутствуют в виде частиц песка, глины, частиц минерального и органического происхождения и т. д., попадающих в поверхностные воды в результате размыва дна и берегов реки и с поверхности почвы в периоды паводков и осенних дождей.

Взвешенные вещества задерживаются при пропуске воды через фильтровальную, т. е. непроклеенную, бумагу. Самые маленькие частицы взвеси можно видеть в микроскоп. Взвешенные вещества с течением времени в зависимости от размеров частиц способны к отстаиванию.

Коллоидно-растворенные вещества по степени раздробления занимают промежуточное положение между взвешенными и истинно растворенными веществами. Размер частиц коллоидно-растворенных веществ находится в пределах примерно от 1 до 100 мкм¹. Они свободно проходят через бумажный фильтр, но не могут проникать через мелкие поры животных и растительных перепон (пергамента, бычьего пузыря и т. д.). Коллоидные частицы не различимы в микроскоп, их можно увидеть только при боковом освещении в так называемом ультрамикроскопе. Коллоидные частицы не оседают даже в течение весьма длительного времени.

В отличие от истинно-растворенных веществ, которые распределены в растворителе в виде отдельных молекул или ионов, коллоидно-растворенные вещества представляют собой частицы, состоящие из сотен и тысяч молекул. Это количественное различие приводит к весьма важному качественному отличию коллоидных частиц, являющемуся их характерным признаком, а именно: коллоидные частицы имеют свою поверхность, разделяющую их от растворителя. При этом благодаря незначительным размерам этих частиц они обладают относительно большой поверхностью даже при небольшом количестве раздробленного вещества. Так, например, если кубический сантиметр² какого-либо вещества с общей поверхностью 6 см² раздробить на более мелкие кубики с длиной ребра до 10 мкм, то количество таких кубиков будет равно 10¹⁸, а их общая поверхность составит внушительную величину, равную 600 м².

Наличие поверхности, разделяющей коллоидную частицу от растворителя, сообщает коллоидно-растворенным веществам свойства, отличающие их как от взвешенных, так и от истинно-растворенных веществ. В чем же особенности этого поверхностного слоя? Как уже указывалось выше, молекулы любого вещества, находя-

¹ Тысячная доля микрона или миллионная доля миллиметра.

щегося в твердом или жидком состоянии, связаны между собой весьма значительными силами сцепления. Каждая молекула, находящаяся внутри твердой коллоидной частицы (рис. 2-1), притягивает окружающие ее молекулы и сама притягивается к ним, в результате чего их силы сцепления уравниваются. Иначе обстоит дело на поверхности этой частицы. Находящиеся здесь молекулы связаны с другими молекулами коллоидной частицы только с боков и снизу, а сверху, т. е. над поверхностью этой частицы, силы этих молекул не израсходованы.

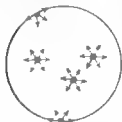


Рис. 2-1. Молекулы, находящиеся на поверхности, обладают избыточной энергией.

Благодаря этой некоторой избыточной энергии молекулы поверхностного слоя способны притягивать другие молекулы, например молекулы растворителя. Это явление носит название адсорбции, что значит — поглощение поверхностью.

В природных водах всегда находятся в некотором количестве электролиты, т. е. вещества, молекулы которых при растворении распадаются на электрически заряженные частицы — ионы. Коллоидные частицы благодаря своей энергии на поверхности адсорбируют положительные или отрицательные ионы растворителя и таким образом приобретают определенный электрический заряд. Следовательно, коллоидная частица представляет собой сложное образование, в центре которого находится ядро из молекул раздробленного вещества, а вокруг ядра расположены ионы. В коллоидном растворе все такие частицы заряжены одинаково (положительно или отрицательно), и поэтому между ними действуют силы отталкивания, что препятствует их сближению и делает коллоидную систему устойчивой.

В зависимости от свойства растворителя то или иное вещество может образовывать коллоидный или истинный раствор. Так, например, мыло образует в воде коллоидный раствор, а в этере — истинный раствор. Хлористый натрий, давая в воде истинный раствор, образует в бензине коллоидный раствор. Поэтому коллоиды не являются особыми веществами, это особое состояние вещества.

В природных водах в коллоидно-растворенном состоянии находятся соединения кремния, алюминия, железа, а также органические вещества, образующиеся

в результате распада животных и растительных организмов.

Истинно-растворенные вещества, как уже указывалось выше, имеют молекулярную или ионную степень раздробления (размер частиц менее 1 мкм), т. е. молекулы (или ионы) растворенного вещества равномерно распределены между молекулами растворителя. Такой раствор является однородным в любой его части. Истинно-растворенные вещества проходят через животные и растительные перепонки и не могут быть различимы даже в ультрамикроскоп.

В природных водах в истинно-растворенном состоянии находятся газы (кислород, азот, углекислота и др.), минеральные соли и некоторые органические соединения.

Из минеральных солей чаще всего встречаются в природных водах углекислые, хлористые и сернокислые соли кальция, магния и натрия. Эти соли относятся преимущественно к так называемым сильным электролитам, и поэтому они практически полностью диссоциированы на ионы. Следовательно, правильнее рассматривать не солевой, а ионный состав природных вод. Таким образом, к наиболее распространенным положительным ионам в природных водах относятся: катионы кальция Ca^{2+} , магния Mg^{2+} и натрия Na^+ , реже встречаются катионы аммония NH_4^+ , железа Fe^{2+} и алюминия Al^{3+} . Из отрицательных ионов в природных водах обычно присутствуют анионы: бикарбонатный HCO_3^- , карбонатный CO_3^{2-} , хлор-ион - Cl^- , сульфат-ион - SO_4^{2-} , иногда нитрат-ион NO_3^- и нитрит-ион NO_2^- .

При диссоциации какого-либо электролита на ионы, как отмечалось выше, наряду с ионами в растворе присутствует некоторое количество недиссоциированных молекул этого электролита, при этом устанавливается динамическое равновесие, которое характеризуется тем, что в единицу времени количество молекул, распадающихся на ионы, равно количеству молекул, вновь образованных в результате соединения ионов.

Если имеется раствор нескольких электролитов, как это имеет место с природной водой, то в таком растворе наряду с ионами, образованными в результате диссоциации этих электролитов, могут получаться, при беспоря-

дочием движения ионов в растворе, их объединения в молекулы в самых различных комбинациях, при этом образуются химические соединения типа электролитов независимо от того, какие электролиты были первоначально растворены в данном объеме воды. Так, например, если внести в стакан воды щепотку хлористого натрия NaCl и сернокислого кальция CaSO_4 , то в полученном растворе, кроме молекул этих солей и образовавшихся в результате их электролитической диссоциации ионов Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , будут образовываться молекулы новых электролитов, а именно: в результате соединения двух ионов Na^+ и иона SO_4^{2-} образуется молекула сернокислого натрия Na_2SO_4 , а при объединении одного иона Ca^{2+} и двух ионов Cl^- образуется молекула хлористого кальция CaCl_2 .

При растворении дождевой водой находящихся в почве различных пород особую роль приобретает попадающий в воду из атмосферы углекислый газ. Среди содержащихся в почве пород весьма большое распространение имеют карбонаты кальция и магния в виде мела, известняков, мрамора, доломита и др. Эти вещества практически не растворимы в воде, но при взаимодействии их с природными водами, в которых имеется растворенная углекислота, происходит образование бикарбонатов кальция и магния, которые хорошо растворимы в воде:



Большая часть попадающего в воду из атмосферы CO_2 находится в виде растворенного газа и лишь незначительная часть взаимодействует с водой, образуя угольную кислоту:



Угольная кислота, являющаяся слабой кислотой, в незначительной степени распадается на ион водорода и бикарбонатный ион:



а последний в еще меньшей степени диссоциирует с образованием карбонатного иона:



Таким образом, во всякой природной воде имеются следующие равновесные состояния:



Итак, во всякой природной воде, кроме молекул воды, состоящих из двух молекул водорода и одной молекулы кислорода, всегда присутствуют посторонние примеси, которые можно разбить на следующие четыре группы:

1. Живые микроорганизмы
2. Взвешенные вещества минерального и органического происхождения.
3. Коллоидно-растворенные вещества минерального и органического происхождения.
4. Истинно-растворенные вещества, куда входят электролиты, органические вещества и газы.

В заключение этой главы познакомимся кратко с показателями, характеризующими качество природной воды.

2-3. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Качество природных вод характеризуется показателями, которые определяются на основе физико-химического анализа воды. Показатели, необходимые для качественной характеристики воды, определяются в зависимости от предъявляемых к ней требований со стороны потребителей. Так, например, для питьевых вод одними из важнейших показателей являются те, которые характеризуют наличие в воде вредных для человека микроорганизмов, в то время как эти показатели совершенно не принимают во внимание для вод, предназначенных для питания паровых котлов. С другой стороны, такие показатели, как содержание в воде солей кальция, магния и кремниевых кислот, имеющие первенствующее значение для паросилового хозяйства, почти не принимаются во внимание в системах городского водоснабжения.

Ниже рассматриваются показатели качества природных вод, применяемых на паросиловых установках.

а) Взвешенные вещества¹

Содержание в воде взвешенных веществ определяется путем пропускания данной пробы воды через бумажный фильтр, который затем высушивается при температуре 105°—110°С до постоянного веса и выражается в миллиграммах на литр. Такой способ непосредственного определения взвешенных веществ в воде является наиболее точным, но приложен лишь при эпизодических определениях, так как требует достаточно продолжительного времени, особенно учитывая незначительное содержание взвеси в природных водах (исключая весенние паводки). Поэтому для оперативного и частого определения взвешенных веществ в воде используются экспрессметодами, заключающимися в косвенном определении содержания взвешенных веществ по прозрачности и мутности воды.

¹ См. ГОСТ 3351-10.

Прозрачность воды определяется двумя способами: по шрифту или по кресту. Для первого способа применяют градуированный на сантиметры стеклянный цилиндр с высотой шкалы 30 см. Под люкют рого по т жеи какой ибѡ т к ѡ шрифтом определяют размера. Проз ачность воды при эт м определяется в сантиметрах высоты столба воды, сквозь который еще можно прочесть текст. Прозрачность по кресту определяют в стеклянной трубке длиной 350 см, диаметром 30 см, на дне которой помещают белый кружок, проведенным на нем крестообразно двумя диаметрами толщиной 1 мм и четырьмя точками между ними. Прозрачность по кресту также выражается в сантиметрах высоты столба воды, сквозь который еще виден крест с точками.

Мутность воды определяют путем сравнения анализируемой воды с определенными эталонами мутности, приготовленными искусственным путем, и выражается в миллиграммах на литр. Показатель мутности воды пропорционален содержанию в воде взвешенных веществ, чего нельзя сказать о показателе прозрачности воды. Оба указанных ко в нных метода определения взвешенных веществ в воде страдают субъективностью, так как основаны на зрительном впечатлении.

Содержащаяся в природных водах в виде оседающих органических и минеральных веществ. Для определения тех и других взвешенных веществ, задержанные на бумажном фильтре и высушенные до 105 - 110° С, прокаливают. При этом органические вещества сгорают, а минеральные вещества остаются и выражаются в анализе в виде показателя — «взвешенные вещества прокаленные» в миллиграммах на литр. Разность между взвешенными веществами и прокаленными в ществами прокаленными определяет, следовательно, содержание в воде органических взвешенных веществ.

б) Сухой остаток

С хой ост ок определяют путем выпаривания профильтрованной воды (т. е. освобожденной от взвешенных в ществ) и высушивания полученно о остатка при температуре 105 - 110° С. Сухой остаток выражают в миллиграммах на литр. Таким образом, величина сухого остатка воды определяет содержание в ней молекулярно- и коллоидно-растворенных веществ.

Сухой остаток природных вод состоит из минеральных и органических веществ. Минеральный остаток воды определяют подсчетом путем суммирования полученных в результате полного анализа воды величин содержания в ней различных катионов и анионов. Органические вещества определяют по разности между сухим остатком и минеральным остатком. Этот показатель является несколько лым, поскольку, помимо органических веществ, в эту величину может входить кристаллизационная и гидратная вода.

в) Окисляемость

Другим косвенным показателем содержания в воде органических веществ является величина ее окисляемости, которая показывает расход кислорода (или перманганата калия KMnO_4) на окисле-

ние органических веществ в определенных уловях и выражается в миллиграммах кислорода или перманганата на 1 л воды.

г) Жесткость

Жесткостью воды называют величину содержания в ней катионов кальция и магния, выраженную в миллиграмм-эквивалентах на 1 л воды (мг-экв/л). Для конденсатов и глубоко умягченных вод, величина жесткости которых очень мала, удобнее выражать ее в микрограмм-эквивалентах на литр, сокращенно $\mu\text{мг-экв/л}$, которая меньше предыдущей величины в 1 000 раз.

д) Щелочность

Щелочность воды выражается в тех же единицах, что и жесткость, и показывает суммарное содержание в ней гидроксидных OH^- , карбонатных CO_3^{2-} и бикарбонатных HCO_3^- анионов. Возможно раздельное определение гидратной, карбонатной и бикарбонатной щелочи. В природных водах щелочность преимущественно бикарбонатная.

е) Концентрация водородных ионов

Эта величина характеризует реакцию воды: кислая, щелочная, нейтральная. Химически чистая вода имеет нейтральную реакцию, при этом часть молекул воды диссоциирована на ионы:



Степень этой диссоциации ничтожна. Из 10 000 000 молекул воды только одна молекула распадается на ионы, т. е.

$\frac{1}{10\,000\,000}$ (одна десятиллионная часть). Это можно, как мы указывали выше, можно изобразить так: 10^{-7} , а для упрощения записи

принято концентрацию ионов водорода выражать через показатель степени десяти с обратным знаком¹, обозначая ее символом pH. При нейтральной реакции воды концентрации ионов H^+ и OH^- одинаковы и равны 10^{-7} . Эта величина является нейтральной границей. При уменьшении этой величины будет уменьшаться знаменатель дроби, и величина дроби увеличится. Следовательно, при pH менее 7 концентрация ионов водорода увеличивается и реакция воды будет кислой, а при увеличении pH — щелочной.

Несмотря на столь незначительную степень электролитической диссоциации воды, абсолютное количество ионов H^+ и OH^- вследствие огромного количества молекул воды составляет внушительное число. Так, например, если в нашем стакане воды общее число молекул, как указывалось выше, составляет около 10^{25} , то при нейтральной реакции число ионов водорода в этом стакане будет равно 10^{18} и столько же будет ионов гидроксила.

¹ Это является отрицательным логарифмом указанной величины.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ЗНАЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ПАРСИЛОВОМ ХОЗЯЙСТВЕ

3-1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Как уже указывалось выше (см. 0-2), вода в паросиловом хозяйстве является рабочим телом, при посредстве которого осуществляется превращение тепловой энергии в механическую и далее в электрическую. При этом, обращаясь в рабочем цикле электростанции, вода в основном прикасается с металлом котла (бараны, коллекторы, трубы, паровой турбины (сопла, рабочие лопатки), конденсатора (трубки). Затруднения, возникающие при эксплуатации теплового оборудования такой электростанции, связаны с качеством обращения в рабочем цикле воды, могут происходить вследствие существования двух основных явлений: 1) выделения из воды растворенных в ней веществ и 2) химического взаимодействия воды с омываемым ею металлом. Первое из этих явлений приводит в свою очередь к двум вредным для теплового устройства последствиям. Во-первых, выделенные из воды твердые вещества в значительной части отлагаются на поверхности металла во всем цикле обращения воды (котел и турбина) и носят общее название солевых отложений. Та часть этих отложений, которая образуется на поверхностях нагрева котла, т. е. в местах, где происходит передача воде полученного металлом от сгорания топлива тепла, называют накипью. Во-вторых, выделенные из воды твердые вещества в некоторой части оседают в толще циркулирующей в пароводяном цикле воды в виде осевших веществ, называемых шламом. Последний может задерживаться в местах впадин циркуляции, в коллекторах экранов и пр. в виде рыхлых отложений, а также может затвердеть и прилипнуть к поверхностям нагрева, образуя так называемую вторичную накипь.

Химическое взаимодействие воды с омываемым ею металлом также имеет важное значение. Во-первых, это взаимодействие приводит к разъеданию поверхности металла в результате образования различных соединений с металлом, преимущественно окислов,

часть которых остается на металле. Эти процессы называют коррозией металла. Во-вторых, часть образовавшихся в результате коррозии окислов металлов попадает в циркулирующую в пароводяном цикле воду, присоединяясь и перемешиваясь с находящимся в ней соевым шламом, а также участвуя вместе с ним в образовании вторичной накипи.

Таким образом, в конечном итоге, при обращении воды в рабочем цикле электростанции могут происходить три основных процесса: накипеобразование, шламообразование и коррозия металла, нарушающие нормальную работу теплосилового оборудования. Прежде чем переходить к рассмотрению этих процессов и причин их возникновения, необходимо хотя бы кратко узнать, в чем состоят те неполадки и затруднения в эксплуатации оборудования, которые возникают по вине этих процессов.

Как нам уже известно, температура любого вещества определяется средней скоростью движения составляющих его молекул. Каким же образом происходит передача тепла, выделяемого при сгорании топлива, воде? Происходит это через посредство металла труб, по которым эта вода циркулирует. Тепловая энергия топлива передается металлу двумя путями. Во-первых, путем излучения тепла от раскаленных частей топлива, т. е. от образующегося в топке котла пламени. Это так называемая лучистая энергия, интенсивность передачи которой зависит от температуры нагретого тела и расстояния до воспринимающего эту энергию тела.

Так, благодаря высокой температуре на Солнце, достигающей на его поверхности до 7000°C , мы воспринимаем тепло Солнца в виде лучей той энергии, несмотря на то, что нас отделяет от него расстояние около 150 млн. км.

Этот путь использования энергии топлива происходит, следовательно, путем лучистого теплообмена и может быть осуществлен только непосредственно в топочной камере котла, где образуются факелы пламени.

Второй путь передачи тепла металлу труб осуществляется при непосредственном их омывании продуктами сгорания топлива — дымовыми газами (в основном азот, углекислота и водяные пары), т. е. путем конвекции. При этом молекулы газа в результате непрерыв-

ного и беспорядочного движения сталкиваются с молекулами металла, находящимися на поверхности труб, и увеличивают скорость их движения.

Скорость движения молекул в твердых телах ограничена; молекулы твердого тела совершают колебательные движения в некотором объеме, будучи связаны силами взаимного притяжения. При столкновении быстро и свободно летящих газовых молекул с металлическими молекулами колебательные движения последних усиливаются, передаются соседним молекулам и затем далее, в глубь металла трубы, вплоть до внутренней ее поверхности, где увеличение интенсивности колебательных движений молекул металла передается соприкасающимся с ними молекулам воды. Этот процесс передачи тепла в твердом теле носит название **теплопроводности**.

Таким образом, передача циркулирующей в котле воде тепловой энергии, выделяемой топливом в процессе его горения в топке, осуществляется вследствие теплопроводности металла труб двумя путями: 1) путем лучистого теплообмена от пламени в топке к поверхности находящихся в топке труб¹, 2) путем конвекции (соприкосновения) горячих дымовых газов с наружной поверхностью расположенных в газоходах труб² и конвекции циркулирующей воды с внутренней поверхностью труб.

Несмотря на высокую температуру в топочных камерах паровых котлов, достигающую до 1300—1500°С и выше, температура стенки труб благодаря хорошей теплопроводности металла не успевает достигнуть опасных величин порядка 600°С и выше, при которой заметно снижается механическая прочность металла. Другими словами, интенсивность колебательных движений молекул металла, возрастающая в результате лучистого теплообмена и конвекции с высоко нагретыми дымовыми газами, быстро гасится вследствие передачи этой энергии молекулам воды при конвекции их с внутренней поверхностью стенки труб.

Что же произойдет в процессе передачи тепла, если на внутренней стенке трубы образуется некоторый слой накипи? Прежде всего следует учесть, что теплопроводность накипи любого состава во много раз ниже тепло-

¹ Эти трубы носят название экранных.

² Эти трубы называются кипятельными.

проводности металлов. Для наглядности этого обстоятельства ниже приведены относительные значения теплопроводности некоторых веществ по отношению к серебру, обладающему наивысшей теплопроводностью, для которого величина теплопроводности условно принята за 100.

Название вещества	Относительное значение теплопроводности
Серебро	100
Медь	96
Сталь	13
Накипь	0,3
Воздух	0,006

Итак, накипь в 40 с лишним раз хуже проводит тепло, чем сталь, а если учесть пористость накипных отложений и ничтожную теплопроводность воздуха, находящегося в этих порах, то это различие между сталью и накипью еще более увеличится.

Следовательно, накипь является как бы преградой между металлом и водой, тормозящей передачу тепла от металла к воде. Таким образом, накипобразование на поверхностях нагрева вызывает повышение температуры стенки металла, передающей тепло нагреваемой воде, что приводит к двум неприятным последствиям.

Во-первых, повышение температуры металла приводит к увеличению расхода топлива.

С этим явлением мы повседневно сталкиваемся в быту, когда нагреваем воду в чайнике, имеющем накипь. Такой чайник требует значительно больше времени, а следовательно, и расхода топлива для доведения воды до кипения, чем чайник с чистой внутренней поверхностью.

Величина перерасхода топлива, разумеется, тем выше, чем толще слой накипи. Так, по приближенным подсчетам, при толщине накипи 0,3–0,4 мм перерасход топлива составляет около 1,0% от всего сжигаемого топлива, а при толщине накипи 2,0 мм этот перерасход достигает уже 4,0%. Эти как будто не столь значительные проценты перерасхода приносят большой ущерб народному хозяйству, если учесть колоссальное количество потребляемого электростанциями топлива.

Во-вторых, температура металла может достигнуть опасных величин, порядка 600°С и выше, при которых заметно снижается механическая прочность металла, и вследствие высокого давления внутри труб (в совре-

менных паровых котлах это давление достигает 150—200 ата и выше) появляется возможность образования выпучин, отдулин и даже прогара труб с образованием сквозных свищей, приводящих к авариям и вынужденным остановам котлов.

Зависимость температуры стенки кипяtilьной и трубы от толщины накипи может быть проиллюстрирована цифрами, вычисленными для следующих условий: температура топочного пространства 1100°С, температура котловой воды 200°С, толщина стенки трубы 5 мм, теплопроводность металла трубы 50 ккал/м·ч·°С, теплопроводность накипи 0,2 ккал/м·ч·°С.

Толщина накипи, мм	Температура стенки трубы, °С
0,25	400
0,50	480
0,75	550
1,00	600
1,25	650
1,50	690
1,75	730
2,00	760
2,50	800
3,00	830
4,00	900

Чрезмерный, чреватый авариями перегрев металла трубчатой системы котла может происходить даже при весьма незначительной толщине отложений, если эти отложения обладают очень низкой теплопроводностью. К таким отложениям относится силикатная (т. е. кремневая) накипь. Подсчеты показывают, что для современных мощных паровых котлов достаточно наличия слоя такой накипи толщиной порядка 0,1—0,2 мм, чтобы температура стенки экранной трубы достигла температуры 600—700°С и выше.

Перегрев и прогар экранных и кипяtilьных труб котла может происходить и при совершенно чистой поверхности металла, если в этих трубах нарушается каким-либо причинам нормальная циркуляция воды с образованием на поверхности труб пленки пара, имеющей, как и все газы, низкую теплопроводность.

Образование шлама в котловой воде также опасно прежде всего потому, что, как указывалось выше, шлам является одной из основных причин образования вторичной накипи, которая приводит к тем же неполадкам и авариям, что и первичная накипь. Помимо этого, наличие взвешенных в воде мелких частиц шлама является

одной из причин, вызывающих повышенный унос паром капелек котловой воды, в результате чего образующийся в котле насыщенный пар приобретает недопустимую величину влажности. Дело в том, что уносимые паром капельки котловой воды, попадая с насыщенным паром в трубки пароперегревателя, переходят там полностью в пар (т. е. в газообразное состояние), а находившиеся в этих капельках в растворенном состоянии различные соли выделяются при этом в виде мельчайших кристалликов или, в зависимости от температуры в котле, в расплавленном состоянии. Часть этих выделенных солей отлагается на внутренней поверхности трубок пароперегревателя и нарушает его нормальную работу, уменьшая проходное сечение трубок, ухудшая теплопередачу и тем самым снижая температуру перегрева. Остальная часть выделенных солей уносится далее паром в турбину и отлагается на лопаточном аппарате, снижая мощность турбины, а иногда вызывая преждевременный ее останов.

Неполадки в работе котлотурбинного оборудования, вызываемые коррозионными процессами, заключаются прежде всего в уменьшении механической прочности металла до недопустимых величин, что ведет к образованию отдулин или даже сквозных свищей, выводящих из строя отдельные элементы оборудования и вынуждающие к длительным остановам котельных агрегатов для соответствующей замены этих элементов. Помимо вреда, причиняемого коррозионным процессом непосредственно в местах повреждения металла, коррозия вызывает увеличение содержания котловой воды вследствие попадания в нее нерастворимых продуктов коррозии в виде окислов металлов. Последние разносятся водой по всей его трубной системе, участвуя совместно с соевым шламом в образовании вторичной накипи.

Рассмотрим теперь причины образования накипи и шлама и протекания коррозионных процессов, а также меры, которые следует применять для возможно полного их устранения.

3-2. НАКИПЕОБРАЗОВАНИЕ

Образование в котловой воде шлама и накипи происходит, как мы видели, в результате выделения в твердое состояние растворенных в этой воде солей. Выделе-

ние из котловой воды кристаллов какого-либо соединения может начаться только тогда, когда концентрация этого соединения превышает его максимальную растворимость в воде, т. е. когда концентрация раствора станет выше, чем в насыщенном растворе этого соединения. Это и является основной причиной образования в котле шлама и накипи.

В табл. 3-1 приведены имеющиеся данные о растворимости наиболее часто встречаемых в котловой воде химических соединений.

Таблица 3-1

Растворимость некоторых веществ в воде

Формула веществ	Растворимость 1 г вещества в 1 л воды при температуре, °С		
	10	50	100
NaOH	340	591	776
CaCl ₂	394	578	614
MgSO ₄	298	335	406
Na ₂ CO ₃	112	322	311
Na ₂ SO ₄	232	320	299
NaCl	263	269	282
NaHCO ₃	75	127	—
Ca(HCO ₃) ₂	140	147	155
CaSO ₄	1,93	2,05	1,62
Ca(OH) ₂	1,76	1,28	0,77
CaCO ₃	0,014	0,015	0,019
Mg(OH) ₂	0,006*	—	—

* При температуре 25° С.

Достижение предельной концентрации указанных соединений, при которой начинается процесс выделения их из воды в виде твердой фазы, т. е. начинается процесс кристаллизации, может происходить прежде всего в результате непрерывно протекающего в паровом котле испарения воды. При этом некоторая (незначительная) часть растворенных в воде веществ уносится из котла с насыщенным паром. Основная же часть растворенных в воде солей остается в котле, и таким образом постепенно нарастает их концентрация.

Процесс кристаллизации солей из насыщенных растворов, происходящий в паровом котле, приводит к выделению твердой фазы в виде взвешенных в воде мель-

чайших кристалликов, укрупняющихся затем и образующих шлам. Этот последний может затем прилипнуть и прикипать на поверхности нагрева. Кроме того, возможен также процесс непосредственного выделения твердой фазы на этой поверхности.

К соединениям, выделяющимся из насыщенных растворов преимущественно в виде шлама, относятся прежде всего фосфат кальция и кремниекислый магний. Наоборот, преимущественно кристаллизуются на поверхности нагрева кремниекислый и сернистокислый кальций.

Процессы накипеобразования и, в частности, выпадение солей в виде шлама или накипи недостаточно изучены. Одной из причин, способствующих кристаллизации веществ непосредственно на поверхности нагрева, является, по-видимому, свойство некоторых солей уменьшать свою растворимость в воде с повышением температуры, т. е. обладающих так называемой отрицательной растворимостью. Так, например, растворимость сернистокислого кальция в зависимости от температуры характеризуется следующими цифрами:

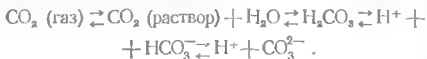
Температура воды	Предельная растворимость CaSO_4 , г/л ⁸
20° С	2 000
100° С	1 500
150° С	500
200° С	200

Как видно из приведенных цифр, выделение гипса из котловой воды будет прежде всего происходить около стенок труб, где температура воды имеет наибольшее значение и где, следовательно, концентрация гипса быстрее достигнет предела насыщения.

Образование в воде насыщенных растворов трудно-растворимых соединений может происходить и без выпаривания воды в результате термического распада бикарбонатов. Сущность этого процесса заключается в следующем.

Как указывалось выше, углекислый газ, растворяясь в воде, частично взаимодействует с ней, образуя угольную кислоту, которая затем диссоциирует на водородный и бикарбонатный ионы, а последний, хотя и в очень незначительной степени, также диссоциирует на водород-

нын и карбонатный ионы. Таким образом устанавливается ряд подвижных равновесий:



С повышением температуры воды и приближением ее к точке кипения парциальное давление водяных паров над водой быстро возрастает, за счет чего соответственно уменьшается парциальное давление углекислого газа. Как известно, растворимость любого газа прямо пропорциональна его парциальному давлению над растворителем. Следовательно, с уменьшением парциального давления углекислого газа уменьшится его растворимость в воде и начнется выделение его из воды. При этом приведенное выше равновесие между газообразным и растворенным CO_2 сдвинется влево. Для восполнения потери растворенной CO_2 угольная кислота начнет распадаться на воду и CO_2 , а водородный и бикарбонатный ионы начнут ассоциировать (соединяться) с образованием H_2CO_3 . В результате этого концентрация H^+ понизится, нарушится равновесие между ионами H^+ и CO_3^{2-} , что заставит часть ионов HCO_3^- диссоциировать с образованием H^+ и CO_3^{2-} . Таким образом, нагревание воды приводит в конечном итоге к распаду бикарбонатного иона HCO_3^- и увеличению концентрации карбонатного иона CO_3^{2-} .

Как было показано в табл. 3-1, карбонат кальция обладает весьма незначительной растворимостью в воде, а так как во всякой природной воде присутствует относительно большое количество катионов кальция, то даже самое незначительное увеличение концентрации в воде карбонатного иона приводит к выпадению из раствора карбоната кальция.

Здесь следует обратить внимание на некоторое своеобразие условий, создаваемых для малорастворимых электролитов, к каковым относятся карбонаты кальция и магния. Как указывалось выше, при рассмотрении процессов электролитической диссоциации, степень этой диссоциации тем больше, чем меньше концентрация в воде растворенных молекул электролита, т. е. чем меньше

вероятность встречи противоположно заряженных ионов и обратного процесса ассоциации молекул. В сильно разбавленных растворах электролиты почти полностью диссоциированы на ионы. Поэтому для таких чрезвычайно малорастворимых веществ, как карбонаты кальция и магния и сернистый кальций, даже в их насыщенных растворах, представляющих растворы с незначительной концентрацией, т. е. разбавленных растворов, будут присутствовать их молекулы в незначительном количестве, а подавляющая часть этих соединений будет присутствовать в насыщенных растворах в виде соответствующих ионов. А так как выделение соединений из их растворов в твердое состояние может начаться только после достижения предельной их растворимости, т. е. из насыщенных растворов, то, следовательно, для малорастворимых электролитов условие выделения их из растворов будет почти исключительно зависеть от поведения в растворе ионов, на которые эти электролиты распадаются. Рассмотрим поведение таких ионов.

Прежде всего напомним, что в насыщенном растворе электролита имеет место динамическое равновесие между количеством молекул, распадающихся на ионы в данном объеме воды в единицу времени, и количеством вновь образующихся из ионов молекул за тот же период времени. Другими словами, скорости диссоциации и ассоциации молекул электролита в этих условиях равны. В то же время концентрация молекул этого электролита в таком насыщенном растворе является предельной. Посмотрим, что произойдет с таким раствором, если по каким-либо причинам произойдет увеличение концентрации одного из находящихся в нем ионов? Возьмем для примера карбонат кальция CaCO_3 и допустим, что концентрация ионов CO_3^{2-} увеличилась. Естественно, что при этом возрастет вероятность встречи этих ионов с ионами Ca^{2+} и образование молекул CaCO_3 , т. е. скорость образования молекул CaCO_3 станет больше скорости диссоциации их на ионы, и, следовательно, нарушится установившееся динамическое равновесие в нашем растворе. А так как он насыщенный, то появление избыточного сверх предельной растворимости карбоната кальция количества его молекул приведет неминуемо к выпадению из раствора кристаллов CaCO_3 . Интересно заметить, что тот же результат может быть получен, если

увеличится в том же размере концентрация другого иона этого электролита, т. е. иона кальция Ca^{2+} , так как это вызовет в такой же степени увеличение вероятности встречи его с ионом CO_3^{2-} .

Таким образом, для данного соединения CaCO_3 мы имеем с одной стороны постоянную величину его растворимости, т. е. концентрацию его насыщенного раствора, а с другой стороны, подавляющая часть этого соединения находится в растворе в виде ионов, концентрации которых для данных условий также являются постоянными и определяющими растворимость этого соединения, так как увеличение концентраций любого из этих ионов приводит к образованию в растворе кристаллов этого соединения.

Эту интересную и весьма важную в химии растворов зависимость удобно выразить, используя так называемый закон действия масс, согласно которому скорость химической реакции прямо пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ.

Этот закон выводится из положений теории вероятностей, т. е. в данном случае вероятности столкновения в заданном объеме реагирующих ионов. Поэтому концентрацию реагирующих ионов в этом случае выражают в чистом грам-ионов, содержащихся в литре раствора. Для выражения этой концентрации надо число граммов данного иона, содержащегося в литре раствора, разделить на его атомный вес. Такая концентрация называется молярной и удобна тем, что при одинаковой ее величине равные объемы растворов содержат одинаковое количество данного иона.

Следовательно, если обозначить концентрацию ионов карбоната кальция для катиона в виде $[\text{Ca}^{2+}]$, а для аниона $[\text{CO}_3^{2-}]$, то произведение этих величин при данной температуре будет величиной постоянной. Называют ее произведением растворимости и обозначают обычно латинской буквой L , указывая внизу справа от нее соединение, к которому оно относится. Так, для данного случая, можно написать:

$$[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}] = L_{\text{CaCO}_3}.$$

Рассмотренная зависимость произведения концентрации ионов малорастворимого электролита основана на законе больших чисел и поэтому является весьма точной закономерностью. Несмотря на ничтожную растворимость таких соединений, как карбонат кальция и гидрат

окиси магния, в их насыщенных водных растворах абсолютные количества диссоциированных на ионы молекул этих соединений достигают колоссальных величин. Так, например, если вернуться к нашему стакану воды и растворить в нем карбонат кальция, то количество находящихся в таком растворе ионов этого электролита будет определяться приблизительно числом 10^{18} , т. е. единицей с восемнадцатью нулями.

При термическом распаде бикарбонатного иона аналогичным путем образуется карбонат магния $MgCO_3$, обладающий заметной растворимостью. При взаимодействии этой соли с водой в результате явления гидролиза¹ образуется труднорастворимый в воде гидрат окиси магния, выделяющийся из раствора:



Описанный термический распад бикарбонатного иона при нагревании воды и выделение в результате этого из раствора карбоната кальция и гидрата окиси магния является единственной причиной, вызывающей накипные отложения в теплообменных аппаратах, в которых отсутствует испарение воды и связанное с ним увеличение концентрации солей.

Помимо выделения из воды труднорастворимых соединений, образование накипных отложений может происходить вследствие достижения предельных концентраций и для хорошо растворимых солей, например, едкого натра, хлористого натрия и сернокислого натрия, которые всегда присутствуют в котловых водах. Такие условия создаются прежде всего в трубах пароперегревателей, когда туда поступает влажный насыщенный пар, содержащий капельки котловой воды. Последние, испаряясь в пароперегревателе, выделяют все растворенные в них соли в сухом или в расплавленном виде. Эти соли частично отлагаются на стенках труб пароперегревателя, а частично проносятся вместе с паром в турбину, в проточной части которой также могут частично отлагаться соли на лопаточном устройстве. При

¹ Обменное разложение растворенного вещества водой, являющееся реакцией, обратной реакции нейтрализации. Гидролиз происходит при взаимодействии с водой солей, образованных слабым основанием или слабой кислотой.

значительной влажности пара солевой занос труб пароперегревателя может достигнуть значительных размеров и приводит нередко к перегосу труб пароперегревателя. Еще более чувствительны к солеотложениям паровые турбины. Даже незначительные, но неравномерные отложения солей на лопатках турбины нарушают уравновешенность ротора и заставляют для сохранения надежности работы турбины снижать ее мощность.

Образование насыщенных растворов хорошо растворимых солей может происходить не только в трубах пароперегревателей. В современных мощных котлах среднего и высокого давления в местах ухудшения (вялой) циркуляции котловой воды, сочетаемой с высокими теплонапряжениями поверхности нагрева¹, может происходить глубокое упаривание котловой воды, вплоть до получения насыщенных растворов и образования отложений солей, обладающих высокой растворимостью в воде. Глубокое упаривание котловой воды может происходить также под слоем рыхлых отложений, куда просачивается и затем испаряется котловая вода. Полное упаривание котловой воды является основной причиной образования солевых отложений в прямоточных котлах.

Кроме описанных кристаллизационных процессов, являющихся основной причиной образования первичных накипных отложений, имеется ряд второстепенных причин, способствующих накипеобразованию. К ним относятся прежде всего образование так называемой вторичной накипи в результате осаждения и прикипания шлама в местах ухудшенной циркуляции воды. Присутствие в котловой воде шлама может вызываться не только вследствие выделения из нее солей, концентрация которых достигла предела их растворимости, но также в результате коррозии металла докотлового оборудования и самого котла и уноса продуктов коррозии в виде окислов железа с питательной или циркулирующей котловой водой. Эти продукты коррозии, попадая вместе с солевым шламом в места вялой циркуляции, также участвуют в образовании вторичной накипи. Наконец, к категории вторичной накипи следует отнести различные комплексные соединения, образующиеся в слое первич-

¹ Такие условия чаще всего могут возникать в горизонтальных или с малым углом наклона трубах (грануляторные трубы)

ной накипи или при взаимодействии этой накипи с окислами железа под действием высокой температуры (так называемые топочимические реакции).

3-3. КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛА

Помимо описанного выше выделения из воды растворенных в ней примесей в виде шлама и накипных отложений, вторым существенным для нарушения нормальной работы парового котла фактором является взаимодействие растворенных в воде веществ с омываемым ею металлом, в результате чего происходит разрушение металла, которое при известных размерах приводит к авариям и выходу из строя отдельных элементов котла. Такие разрушения металла окружающей средой называют коррозией¹. Коррозия всегда начинается с поверхности металла и постепенно распространяется вглубь. Не следует смешивать с коррозией механическое поверхностное разрушение металла, называемое эрозией, например: разрушение лопаток турбин влажным паром, истирание наружной поверхности труб золой и др.

В настоящее время различают две основные группы коррозионных явлений: химическая и электрохимическая коррозия.

К химической коррозии относят разрушения металла в результате его непосредственного химического взаимодействия с окружающей средой. В теплосиловом хозяйстве примерами химической коррозии являются: окисление наружной поверхности нагрева топочными дымовыми газами, коррозия стали перегретым паром (так называемая пароводяная коррозия), разъедание металла смазочными материалами и др.

Электрохимическая коррозия, как показывает ее название, связана не только с химическими процессами, но и с передвижением электронов во взаимодействующих средах, т. е. с появлением электрического тока. Эти процессы происходят при взаимодействии металла с растворами электролитов, что и имеет место в паровом котле, в котором циркулирует котловая вода, представляющая собой раствор распавшихся на ионы солей и щелочей. Электрохимическая коррозия проте-

¹ Слово «коррозия» происходит от латинского слова «коррозио», что значит — разъедание.

кает также при контактировании металла с воздухом (при обычной температуре), содержащем всегда пары воды, которые, конденсируясь на поверхности металла в виде тончайшей пленки влаги, создают условия для протекания электрохимической коррозии. Таким образом, можно считать, что наиболее распространенной является электрохимическая коррозия.

В чем заключается этот вид коррозии? Надо сказать, что коррозионные процессы весьма сложны и до сих пор еще недостаточно изучены¹. Имея в виду название данной книги и незначительный ее объем, мы вынуждены ограничиться кратким, упрощенным изложением основных процессов, происходящих при электрохимической коррозии металла труб паровых котлов.

Разрушение металла в этом случае начинается, по существу, с растворения железа, заключающегося в том, что атомы железа теряют часть своих электронов, оставляя их в металле, и превращаются, таким образом, в положительно заряженные ионы железа, переходящие в водный раствор. Этот процесс не происходит равномерно по всей поверхности омываемого водой металла. Дело в том, что химически чистые металлы обычно недостаточно прочны и поэтому в технике применяют преимущественно их сплавы с другими веществами. Как известно, чугун и сталь являются сплавами железа с углеродом. Помимо этого, к конструкционной стали добавляют в небольших количествах для улучшения ее качества кремний, марганец, хром, никель и др. Наконец, любой металл всегда содержит некоторое количество вредных примесей, как сера, фосфор и др. Следовательно, стали представляют собой вещества с неоднородной структурой. Поверхность такой стали представляет, по существу, участки с различным по составу металлом, причем величина этих участков может иметь самые различные размеры, доходящие до весьма малых, видимых только под микроскопом.

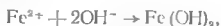
Указанная неоднородность поверхности омываемого водой металла приводит к образованию огромного чис-

¹ Основные работы в области изучения коррозии паросилового оборудования проведены у нас в водном отделении Всесоюзного научно-исследовательского теплотехнического института (Аколызин П. А. и Мамет А. П.).

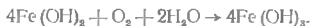
ла микроскопических гальванических пар, где роль электродов играют разнородные по составу участки металла, при этом процесс перехода атомов железа в виде ионов в раствор происходит не по всей его поверхности, а преимущественно в тех ее местах, где металл по своему составу является более активным для такого процесса (анодные участки). Одновременно с этим на других (катодных) участках происходит процесс усвоения (ассимиляции) избыточных электронов (освободившихся в металле при растворении железа) способными к восстановлению ионами, в частности, ионами водорода.

Этот процесс электрохимической коррозии через некоторое время замедляется в результате уменьшения создаваемой микротоками электродвижущей силы, происходящего вследствие, во-первых, различной скорости протекаемых на электродах процессов и, во-вторых, вследствие незначительной скорости диффундирования в глубину раствора перешедших в воду ионов металла. Это снижение силы тока называется поляризацией.

Дальнейшее протекание электрохимической коррозии металла протекает при наличии веществ, уменьшающих поляризацию электродов и называемых деполаризаторами. Существенное значение для протекания коррозии стали имеет катодная деполаризация, т. е. связывание освобожденных на аноде электронов. Эта деполаризация происходит преимущественно путем ионизации растворенного в воде молекулярного кислорода, а также путем разряда ионов водорода, в результате чего у катодных участков образуются гидроксильные ионы OH^- . Последние, встречаясь с проникающими в раствор у анодных участков ионами железа, образуют гидрат окиси железа:



которая может при дальнейшем взаимодействии с растворенным в воде кислородом переходить в гидрат окиси железа:



Эти процессы происходят обычно в толще раствора, куда в результате диффузии попадают ионы железа с анодных участков и гидроксильные ионы с катодных

участков, и поэтому образующийся рыхлый осадок гидрата закиси и окиси железа не препятствует доступу раствора к поверхности металла. Происходящее при этом уменьшение концентрации ионов железа в воде способствует дальнейшему переходу в раствор атомов железа с поверхности металла, т. е. способствует продолжению коррозионного процесса.

Кислород, таким образом, является основным «виновником» протекающей в энергетическом хозяйстве электрохимической коррозии. Еще более усиливает коррозию металла одновременное присутствие в воде кислорода и углекислоты. Последняя способствует ослаблению связи продуктов коррозии с поверхностью металла и уносу их водой, препятствуя образованию защитного слоя окислов.

Как указывалось выше, деполяризация катодных участков металла может происходить в результате не только ионизации молекулярного кислорода, но также восстановления ионов водорода путем усвоения ими освободившихся электронов металла. Скорость этого процесса в первую очередь зависит от концентрации в растворе ионов водорода, т. е. от величины рН раствора. Классическим примером электрохимической коррозии с водородной деполяризацией является растворение стали в кислотах.

Угольная кислота является одним из существенных факторов коррозии металла паровых котлов. Объясняется это способностью раствора угольной кислоты, несмотря на незначительную степень ее диссоциации, поддерживать некоторую постоянную концентрацию ионов водорода. Такие растворы называются буферными. При этом, по мере того, как восстанавливаются ионы водорода у поверхности корродируемого металла, их концентрация пополняется за счет дальнейшей диссоциации углекислоты и, следовательно, скорость коррозии в этих условиях не уменьшается. Это обстоятельство приводит к тому, что низкие значения рН, создаваемые угольной кислотой, опаснее в коррозионном отношении, чем концентрации водородных ионов в растворах минеральных кислот, которые диссоциированы полностью, и поэтому пополнение концентрации водородных ионов у поверхности корродируемого металла может происходить при этом только за счет диффузии их из раствора, что неиз-

бежно приводит к уменьшению скорости коррозионного процесса. Особенно усиливается углекислотная коррозия в горячей воде, что объясняется повышением степени диссоциации угольной кислоты с увеличением температуры раствора.

По форме проявления коррозии различают: коррозию равномерную, когда разрушение металла происходит примерно на одинаковую глубину по всей поверхности металла, и коррозию местную. Последняя имеет три основных разновидности: 1) язвенная коррозия, при которой разделение металла развивается в глубину на ограниченной площади поверхности, приближающейся к точечным изъязвлениям, что особенно опасно для котельного оборудования (образование в результате такой коррозии сквозных свищей); 2) избирательная коррозия, когда разрушается одна из составных частей сплава; например, в трубках конденсаторов турбин, изготовленных из латуни (сплав меди с цинком), при охлаждении их морской водой происходит удаление из латуни цинка, в результате чего латунь делается хрупкой; 3) межкристаллитная коррозия, возникающая преимущественно в недостаточно плотных заклепочных и вальцовочных соединениях паровых котлов при агрессивных свойствах котловой воды с одновременными чрезмерными механическими напряжениями в этих участках металла. Этот вид коррозии характеризуется появлением трещин, идущих по границам кристаллов металла¹, что делает металл хрупким. Межкристаллитную коррозию называют иногда каустической хрупкостью, поскольку в результате испарения котловой воды в местах неплотных соединений элементов котла образуются пленки воды с высокой концентрацией едкого натра (каустика), вызывающего при наличии всех остальных отмеченных выше факторов этот вид коррозии.

3-4. ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

В предыдущих главах мы достаточно обстоятельно познакомились с природной водой как сырьем, поступающим на водоподготовительную установку, приготовляю-

¹ Имеется еще так называемая транскристаллитная коррозия, при которой трещины проходят через кристаллы металла, что имеет место при частых переменных нагрузках на металл, приводящих к его коррозионной усталости.

щую из нее готовую продукцию в виде химически обработанной воды, а также узнали, какое значение для потребителей этой продукции, т. е. для паровых котлов, имеет ее качество и какие затруднения и неполадки в эксплуатации паровых котлов вызывает неудовлетворительное качество питательной воды.

Теперь, для того чтобы закончить общее рассмотрение проблемы водоподготовки в энергохозяйстве, нам необходимо узнать, какими путями обеспечивается на электростанциях нормальная эксплуатация котлотурбинного оборудования, при которой в максимальной степени устраняется возможность возникновения каких-либо затруднений и неполадок в работе этого оборудования, вызываемых неудовлетворительным качеством питательной или котловой воды. Совокупность всех этих условий работы котлотурбинного оборудования, обеспечивающих их нормальную эксплуатацию, объединяются под общим названием — нормальный водный режим паровых котлов.

После того, что мы узнали о значении качества воды в паросиловых установках, нам нетрудно конкретизировать, что следует понимать под нормальным водным режимом паровых котлов. Такой режим должен обеспечивать максимальное предотвращение образования на поверхностях нагрева и во всем пароводяном тракте (паропроводы, паровая турбина, конденсаторы) отложений или шлама и коррозии металла, вызывающих преждевременный износ и аварийные повреждения оборудования или снижение технико-экономических показателей его работы.

Подытоживая требования, предъявляемые к качеству питательной воды для паровых котлов, можно сказать, что эта вода должна по возможности содержать минимальное количество вредных для котла и турбины примесей, что определяется по следующим основным показателям ее качества: прозрачность, жесткость, содержание кремнезема, содержание растворенных газов, величина pH. Это, однако, не значит, что во всех случаях необходимо добиваться получения воды, приближающейся по своему качеству к химически чистой воде. Получение такой воды требует дорогостоящих технологических процессов. В этом случае в зависимости от типа парового котла, параметров пара, качества сырой воды и др. определяются нормы качества питательной воды.

Эти условия определяются прежде всего Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей и утвержденными Нормами качества питательной и котловой воды, а также Правилами

ми устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов Госгортехнадзора и выпускаемыми Руководящими указаниями о водном режиме для определенных групп котлов.

Обеспечение нормального водного режима паровых котлов высокого и сверхвысокого давлений усложняется вследствие возникающей при этом способности пара растворять некоторые вещества, находящиеся в котловой воде. Как указывалось выше, вода, превращаясь в пар, весьма значительно увеличивает свой объем, что особенно заметно при атмосферном давлении, когда из 1 кг воды образуется 1670 л насыщенного пара. Однако по мере увеличения давления это соотношение между объемами воды и образованного из нее пара быстро уменьшается, т. е. плотность пара увеличивается. Так, например, при давлении 10 кг/см²* тот же литр воды дает пар, занимающий объем 194 л, при 34 кг/см² — 60 л, при 66 кг/см² — 30 л, при 150 кг/см² — 10 л, а при 215 кг/см² 1 л воды дает только 5 л пара.

Как показывают эти цифры, с ростом давления плотность насыщенного пара весьма быстро увеличивается, вследствие чего такой пар как бы приближается по своим свойствам к воде.

Это обстоятельство устанавливает границу применения барабанных котлов с естественной циркуляцией, основанной на разности удельных весов воды и пароводяной смеси. Поэтому переход на давление пара, близкое к критическому (225 кг/см²) и сверхкритическому, возможен только путем применения прямоточных котлов, работающих с принудительным движением воды в трубах котла.

Способность пара растворять некоторые вещества становится заметной, начиная с давления 60 кг/см², и далее с ростом давления эта способность также увеличивается, что создает большие затруднения при эксплуатации электростанции, так как такой пар, попадая в турбину, начинает по мере снижения давления выделять растворенные в нем соли, часть которых отлагается на лопатках турбины. Этот фактор усугубляется еще тем обстоятельством, что растворяющая способность пара неодинакова к различным соединениям. Особенно растет эта способность в отношении кремнекислых соединений

* 1 ат ≈ 1 кг/см².

(силикатов), которые образуют на лопатках турбин отложения, не удаляемые водными промывками. Следует также учесть, что применяемые в барабанных котлах сепарационные устройства уменьшают только влажность пара и являются совершенно беспомощными в отношении растворимых в паре веществ. Вот почему для котлов высокого давления стремятся получить питательную воду с минимальным содержанием, стремясь при этом по возможности полно удалить из нее кремнекислоту.

Качество выдаваемого котлами пара считается нормальным, если он не вызывает заметных отложений на лопаточном аппарате турбины. На основании опыта работы электростанций среднего и высокого давления качество насыщенного пара нормируется следующими показателями, приведенными в табл. 3-2.

Таблица 3-2

Максимально допустимое содержание веществ в паре

Давление пара у турбины, атм	Соединения натрия в пересчете на сульфат натрия, мг/кг		Кремниевая кислота в пересчете на SiO ₂ , мг/кг		Свободная углекислота, мг/кг	
	ГРЭС	ТЭЦ	ГРЭС	ТЭЦ	ГРЭС	ТЭЦ
40 и ниже	200	300	—	—	5	15
41—90	200	200	20	30	2	10
90 и выше	50	80	20	30	1	5

а) Требования, предъявляемые к качеству питательной воды барабанных котлов

В соответствии с «Правилами технической эксплуатации электростанций и сетей» питательная вода для паровых котлов должна удовлетворять следующим основным требованиям.

Взвешенные вещества. Поступающая в паровые котлы питательная вода должна быть максимально освобождена от взвешенных веществ. Важность соблюдения этого требования становится понятной, если вспомнить, что взвешенные вещества увеличивают шламосодержание котловой воды и, следовательно, способствуют образованию вторичной накипи и ухудшают качество насыщенного пара. При этом к взвешенным веществам следует относить не только содержащиеся в природной воде, используемой для покрытия потерь пара и конденсата в цикле электростанции, но и взвешенные вещества, об-

разующиеся в процессе обработки этой природной воды, а также коррозионный шлам в виде окислов металлов, приносимый с воссоздаваемыми в котел турбинным и производственным конденсатами. Это требование обычно контролируется по косвенному показателю — прозрачности воды, определяемому по шрифту Снеллена (см. § 2-3). Питательная вода для всех паровых котлов считается достаточно удовлетворительно освобожденной от взвешенных веществ, если ее прозрачность по Снеллену составляет не ниже 50 см.

Жесткость. Этот показатель качества воды определяет содержание в ней катионов кальция и магния, которые, как известно, образуют при нагревании воды в котле малорастворимые соединения (см. § 2-2), выделяемые в виде шлама и накипи на поверхностях нагрева. Поэтому питательная вода паровых котлов должна содержать минимальное количество этих катионов, насколько это представляется возможным достичь современными методами обработки воды. Согласно Правилам технической эксплуатации жесткость питательной воды для паровых котлов не должна превышать для давления до 45 ат — 15 мг-экв/л, от 45 до 100 ат — 10 мг-экв/л и выше 100 ат — 5 мг-экв/л.

Кислород. Как указывалось выше, кислород является основным агентом, вызывающим коррозию металла, и при этом в наиболее опасной форме — в виде язвин, что может быстро вывести из строя оборудование паросиловой установки и в первую очередь экономайзер, который прежде других элементов котла приходит в соприкосновение с питательной водой. Вот почему для котлов любых давлений стремятся довести содержание растворенного в воде кислорода практически до нуля, т. е. до таких размеров, которые уже невозможно обнаружить современными методами анализа. Согласно Правилам технической эксплуатации содержание кислорода в питательной воде не должно превышать для котлов с давлением до 45 ат — 30 мг/л, от 45 до 100 ат — 20 мг/л и свыше 100 ат — 15 мг/л.

Свободная углекислота, так же как и кислород, особенно при совместном их присутствии, вызывает коррозию металла, и согласно Правилам технической эксплуатации в питательной воде она должна отсутствовать. При этом величина рН питательной воды должна

быть не ниже 7, т. е. вода должна иметь нейтральную или слабощелочную реакцию.

Масла. Присутствие смазочных масел в питательной воде даже в незначительных количествах может вызывать повышенное вспенивание котловой воды и связанное с этим возмущение уноса паром качеств котловой воды. Согласно Правилам технической эксплуатации содержание масла в питательной воде не должно превышать для котлов с давлением 45 ат — 3 мг/л, от 45 до 100 ат — 1 мг/л, выше 100 ат — 0,5 мг/л. Для прямоточных котлов любых давлений масла в питательной воде должны практически отсутствовать, что определяется в анализе воды словом «следы».

Нормирование остальных показателей качества питательной воды, как-то: щелочность, сухой остаток, содержание кремнекислоты, должно быть связано с качеством котловой воды, поскольку концентрации связанных с этими показателями веществ постепенно увеличиваются по мере испарения воды в котле. На этом вопросе необходимо остановиться несколько подробнее, так как он является существенным для правильного регулирования водного режима паровых котлов.

б) Вывод солей из цикла теплосиловой установки с барабанными котлами

Работа парового котла заключается в непрерывном испарении поступающей в него питательной воды. Последняя, как это видно из схемы обращения воды в цикле электростанции (рис 0-3), включает в себя, помимо возвращаемого в котел конденсата турбины и конденсата производства, добавку химически обработанной воды, восполняющей все потери в цикле пара и конденсата. При превращении воды в пар происходит выделение растворенных в ней газов (кислород, азот, углекислота), а также некоторых летучих с паром органических веществ. Кроме того, с насыщенным паром увлекается некоторое незначительное количество воды в виде мельчайших капелек, содержащих растворенные в котловой воде вещества. В современных мощных барабанных паровых котлах благодаря различного рода совершенным внутрибарабанным сепарационным устройствам осуществляется отделение от пара уносимой им влаги, в ре-

результате чего влажность сепарированного пара значительно снижается, а следовательно, соответственно снижается количество уносимых паром с этой влагой растворенных в ней солей. Несмотря на то, что в современных барабанных котлах высокого давления солесодержание котловой воды достигает 300—600 мг/л и выше, солесодержание выдаваемого этими котлами насыщенного пара составляет не более 0,1 мг/л. Но и это незначительное количество солей, уносимых паром из котла, лишь в небольшой своей части задерживается в пароводяном тракте (пароперегреватель, лопатки турбин), а основная их часть вновь попадает в котел с возвращаемым в него конденсатом.

Таким образом, растворенные в добавляемой химически обработанной воде соли, попадая в барабанный паровой котел, постепенно, по мере испарения воды, накапливаются в котле, а результате чего концентрация этих солей в котловой воде непрерывно возрастает. Следует иметь в виду, что при незначительном водяном объеме современных барабанных котлов и в то же время высокой их паропроизводительности указанный процесс накопления солей в котле может происходить весьма быстро. Так, например, если взять паровой котел с паропроизводительностью 200 т пара в час и имеющий водяной объем около 20 м³, то при солесодержании питательной воды 10 г/м³ в течение суток количество поступивших в котел солей будет равно:

$$200 \cdot 10 \cdot 24 = 48\,000 \text{ г.}$$

Если пренебречь уносом солей с паром, то, следовательно, уже через сутки концентрация солей в котловой воде составит:

$$\frac{48\,000}{20} = 2\,400 \text{ г/м}^3,$$

т. е. возрастет в 240 раз по сравнению с солесодержанием питательной воды. Столь быстрое нарастание концентрации солей в котловой воде является недопустимым по трем причинам: во-первых, это вызовет даже при прежней влажности пара увеличение его солесодержания, поскольку в том же количестве уносимых паром капелек котловой воды будет соответственно повышенная кон-

центрация растворенных солей; во-вторых, увеличение солесодержания котловой воды способствует вспениванию воды и увеличению уноса воды паром, что, следовательно, еще в большей степени повысит его солесодержание; в-третьих, чрезмерное увеличение концентрации солей в котловой воде может вызвать выделение из нее шлама и отложений. Поэтому возникает необходимость воспрепятствовать этому накоплению солей в котле путем вывода их из цикла обращения воды на электростанциях.

Для барабанных котлов такой вывод солей из цикла осуществляют путем непрерывной продувки, т. е. путем непрерывного удаления из барабана котла некоторой части котловой воды. Выпуск из котла нагретой до высокой температуры воды влечет большие потери тепла. Поэтому продувочную воду обычно пропускают через теплообменник для использования некоторой части этого тепла для подогрева химически обработанной воды или сырой воды, поступающей на водоподготовительную установку. Однако и при этих условиях продувка связана со значительными тепловыми потерями. Так, например, для современных паровых котлов высокого давления непрерывная продувка в размере 1% от паропроизводительности котла вызывает потерю топлива порядка 0,5%. Поэтому Правила технической эксплуатации ограничивают величину непрерывной продувки для электростанций в пределах 1—5% в зависимости от типа станции.

Для того чтобы максимально уменьшить величину непрерывной продувки, на электростанциях проводят специальные теплохимические испытания каждого вводимого в эксплуатацию парового котла. При этом определяют, какую максимальную концентрацию растворенных в котловой воде веществ может допустить данный котел, выдавая в то же время пар нормального качества. Таким путем устанавливают для каждого котла эксплуатационные нормы качества котловой воды. Чем выше эти нормы, тем соответственно меньше будет требуемая величина непрерывной продувки при одном и том же качестве питательной воды. В то же время естественно, что непрерывная продувка будет снижаться при уменьшении солесодержания питательной воды. Сказанное можно пояснить на следующих примерах.

Имеем два котла А и Б производительностью каждый 200 т/ч и питаемых водой с соледержанием 50 г/т. Нормы соледержания котловой воды, установленные теплотехническими испытаниями, составляют для котла А 500 г/т, а для котла Б 1000 г/т. Согласно материальному балансу при накоплении в котле установленного нормами количества растворенных в котловой воде веществ для предотвращения дальнейшего недопустимого роста их концентрации должно быть установлено равновесие между количеством поступающих в котел с питательной водой веществ и выводимых из котла продувочной водой. Для упрощения подсчета пренебрежем количеством солей, уносимых из котла паром. В котел А каждый час поступает 200 т питательной воды, содержащей в каждой тонне 50 г растворенных веществ, т. е. каждый час в котел А поступает $200 \cdot 50 = 10\,000$ г веществ. Это количество веществ должно выводиться из котла ежечасно котловой водой, в которой их концентрация составляет согласно установленной норме 500 г в каждой тонне. Разделив 10 000 на 500, мы узнаем, какое количество котловой воды необходимо удалять каждый час из котла А, чтобы приостановить дальнейший рост концентрации солей в котловой воде. Это количество будет равно $10\,000 : 500 = 20$ т/ч, или, выразив это в процентах от производительности котла, получим: $20 \cdot 100 : 200 = 10\%$. Прделаав те же подсчеты для котла Б, питаемого той же водой, мы определим размер продувки: $10\,000 : 1\,000 = 10$ т/ч, или $10 \cdot 100 : 200 = 5\%$. Отсюда видно, что котел Б, допускающий вдвое большую концентрацию котловой воды, имеет соответственно вдвое меньший размер непрерывной продувки. Если для одного из этих котлов, например для котла А, улучшается качество питательной воды и соледержание ее снизится до 10 г/т, то соответственно уменьшится количество поступающих в котел растворенных веществ, составляя только $200 \cdot 10 = 2\,000$ г веществ в 1 ч. Следовательно, для поддержания установленной в этом котле концентрации растворенных в котловой воде веществ соответственно уменьшится количество выдуваемой из него воды, которая составит: $2\,000 : 500 = 4$ т/ч, или $4 \cdot 100 : 200 = 2\%$.

Помимо непрерывной продувки, применяют периодическую продувку, имеющую целью предотвратить чрезмерное скопление в котле шлама.

В промышленных котельных и даже на конденсационных электростанциях периодическая продувка часто выполняет и функции вывода солей, а не только удаления шлама.

в) Ступенчатое испарение

Из всего сказанного о непрерывной продувке барабанных котлов видно, что при одном и том же качестве питательной воды величина этой продувки может быть снижена только до известного предела, после которого дальнейшее ее понижение неизбежно приведет к чрезмерному накоплению солей в котловой воде, т. е. к недопустимому увеличению ее солевого содержания и как следствие этого — к ухудшению качества выдаваемого котлом пара. Снижение величины продувки без ухудшения качества пара возможно путем осуществления метода так называемого ступенчатого испарения, предложенного в 1936 г. проф. Э. И. Роммом (ВТИ) и получившего широкое применение в отечественном котлостроении.

Сущность этого метода заключается в том, что испарение воды в котле осуществляется последовательно по ступеням. Это достигается путем разделения верхнего барабана котла внутренними перегородками на несколько отсеков, каждый из которых имеет самостоятельную систему циркуляции. Для пояснения работы такого котла обратимся к рис. 3-1, на котором изображена схема циркуляции воды в котле с двухступенчатым испарением¹. Водяной объем барабана котла разделен внутренней перегородкой на два неравных отсека, имеющих отдельные контуры циркуляции. Питательная вода поступает в большой отсек, т. е. первую ступень испарения, называемую чистым отсеком. Через имеющееся в перегородке отверстие котловая вода из чистого отсека перетекает во вторую ступень, называемую соленым отсеком. Непрерывная продувка котла осуществляется только из соленого отсека. При такой организации работы котла питательная вода соленого отсека является одновременно продувочной водой чистого отсека, благодаря чему величина продувки этого отсека без каких-либо тепловых потерь может достигать значительной величины, обеспечивая тем самым низкое содержание котловой воды в этом отсеке и, следовательно, улучшая качество

¹ Имеются котлы и с трехступенчатым испарением.

получаемого из него пара. А так как большая часть пара получается из котловой воды чистого отсека, то таким образом обеспечивается нормальное качество всего пара, выдаваемого котлом. В соленом отсеке (поскольку его участие в получении котлом пара относительно невелико) представляется возможным допустить значительное солесодержание котловой воды и вследствие этого несколько худшее качество пара, чем из чистого отсека.

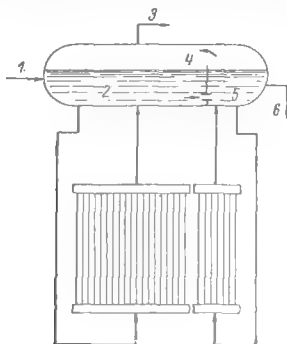


Рис. 3-1. Схема циркуляции воды в котле с двухступенчатым испарением.

1 — питательная вода; 2 — первая ступень (чистый отсек); 3 — пар; 4 — перегородка; 5 — вторая ступень (соленый отсек); 6 — продувка.

Величина продувки из соленого отсека, отнесенная к общей производительности котла, будет заметно ниже, чем при прочих равных условиях у котла без ступенчатого испарения.

Существенным недостатком описанной схемы ступенчатого испарения является возможность обратного переброса котловой воды через перегородку из соленого отсека в чистый отсек. Для устранения этого недостатка по предложению инж. Нсева В. Н. (Оргрзс) получило распространение ступенчатое испарение с так называемыми выносными (вне барабана котла) циклонами, являющимися солеными отсеками. Схема такого двухступенчатого испарения изображена на рис 3-2. Питательная вода подается в барабан котла,

являющийся при этом чистым от еком. Прочувчая вода из барабана котла по трубе в установленный рядом с барабаном циклон, для которого эта вода является питательной. Циклон имеет отдельный контур циркуляции и выдает пар в барабан котла. Продувка осуществляется только из циклона.

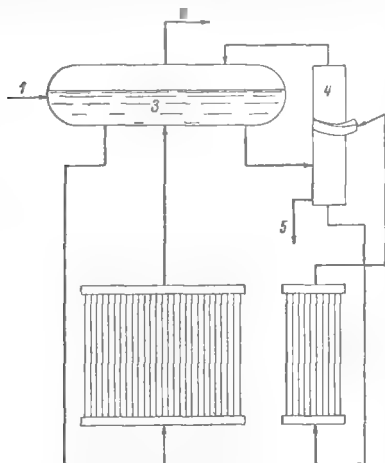


Рис. 3-2. Схема двухступенчатого испарения с выносными циклонами.

1—питательная вода; 2—пар; 3—первая ступень (верхний барабан котла); 4—вторая ступень (выносной циклон); 5—продувка.

г) Фосфатирование котловой воды

Глубокое умягчение питательной воды паровых котлов, т. е. удаление из них ионов кальция и магния, не предотвращает полностью возможности образования на поверхностях нагрева котла солевых отложений из нерастворимых соединений кальция и магния. Объясняется это в основном тем, что в замкнутом цикле кругооборота воды на электростанции (рис 0-3) есть одно уязвимое место, через которое возможно проникновение сырой,

жесткой воды. Таким местом является конденсатор турбины, где, как мы уже знаем (рис. 0-1), происходит конденсация выходящего из турбины отработавшего пара, проходящего между трубное пространство конденсатора, по трубкам которого циркулирует охлаждающая вода. В результате неплотностей в местах соединения труб с трубными досками, т. е. в местах вальцовки в трубах, а также коррозии конденсаторных трубок происходит проникновение (присос) охлаждающей воды в конденсатор турбины. Обеспечение достаточно удовлетворительной плотности этих соединений усложняется вследствие большого их количества, доходящего до 25 000 у одного конденсатора¹.

Для устранения попадающих таким образом в котловую воду накипеобразующих ионов кальция и магния осуществляют умягчение котловой воды методом фосфатирования. Для этого в поступающую в котел питательную воду непрерывно вводят при помощи насоса-дозатора раствор фосфорнокислого натрия Na_3PO_4 , который распадается на ионы 3Na^+ и PO_4^{3-} . Ион PO_4^{3-} образует с ионами кальция и магния нерастворимые соли, которые выделяются в толще котловой воды в виде мельчайших частиц шлама, не прилипающего к поверхности нагрева и легко удаляемого из котла с продувочной водой.

д) Водный режим проточных котлов

По-прежнему решаются вопросы водного режима для проточных котлов, у которых нет барабана и, следовательно, невозможно осуществлять вывод солей из пароводяного цикла путем непрерывной продувки.

Основная особенность водного режима проточных котлов заключается в том, что поступающая в него питательная вода принудительно (под напором, создаваемым насосом) движется по системе труб, с другого конца которых выходит перегретый пар. Естественно, что при этом все поступающие с питательной водой вещества, независимо от их растворимости, выделяются из воды и частично отлагаются на поверхностях нагрева котла, а остальная (большая) часть поступает вместе с паром в турбину.

¹ В настоящее время предложены и начинают внедряться конструкции конденсаторов с высокой водяной плотностью.

Таким образом, в то время как для барабанных котлов требуется максимальное удаление труднорастворимых веществ, а концентрация хорошо растворимых веществ определяется эксплуатационными нормами котловой воды, для прямоточных котлов является неизбежным отложение некоторой части всех приносимых с питательной водой веществ как в котле, так и в турбине, что приводит к необходимости периодического останова их для очистки от образовавшихся отложений.

Следовательно, водный режим электростанций с прямоточными котлами должен быть так организован, чтобы, во-первых, вынужденные периодические очистки оборудования производились как можно реже (желательно, чтобы проведение их можно было приурочивать к капитальным ремонтам котлотурбинного оборудования), и, во-вторых, чтобы удаление образовавшихся отложений можно было осуществлять возможно быстро путем водных промывок, т. е. чтобы в составе этих отложений были преимущественно хорошо растворимые в воде вещества.

Отсюда основные требования, предъявляемые к качеству питательной воды для прямоточных котлов любых давлений, сводятся к тому, чтобы концентрация в ней всех растворенных веществ была доведена до минимума, и в особенности кремниевых кислот (во избежание образования на лопатках турбины невымываемых кремниевых соединений).

Таблица 3-3

Нормы качества питательной воды для прямоточных котлов

Показатели качества	Размерность	Максимально допустимое содержание
Общая жесткость	мкг-экв/л	1
Кремниевая кислота в пересчете на SiO_2	мкг/л	20
Натриевые соединения в пересчете на сульфат натрия	мкг/л	50
Значение pH		Не ниже 7
Содержание растворенного кислорода	мкг/л	15
Содержание соединений железа в пересчете на Fe	мкг/л	30
Содержание соединений меди в пересчете на Cu	мкг/л	30
Содержание масел	мг/л	Следы

Действующие в настоящее время нормы качества питательной воды для прямоточных котлов приведены в табл. 3-3.

Несмотря на высокие требования, предъявляемые к качеству питательной воды прямоточных котлов, возникает необходимость вывода солей из цикла теплосиловой установки, оборудованной прямоточными котлами, поскольку, как уже указывалось выше, возвращаемый в котел конденсат загрязняется в результате присосов охлаждающей воды в конденсаторах турбин и повышает содержание в питательной воде посторонних примесей, которые при высоком и сверхвысоком давлении в значительной степени растворяются в паре и вызывают солевые отложения на лопатках турбин. Отсутствие в прямоточных котлах барабана не позволяет прибегнуть к выводу солей путем продувки котла, взамен чего приходится прибегать к глубокому химическому обессоливанию загрязненного конденсата (см. гл. VIII).

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ ОСВЕТЛЕНИЕ ВОДЫ

4-1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Теперь, после того как мы познакомились с природной водой, являющейся сырьем для водоподготовительных установок, узнали, какие затруднения вызывают на электростанциях содержащиеся в воде посторонние примеси и какие требования предъявляются электростанциями к обработанной воде, нетрудно будет определить, к чему сводятся основные задачи водоподготовительных установок.

Обработка природной сырой воды, предназначенной для питания паровых котлов, может включать в себя следующие четыре задачи: 1) осветление воды; 2) умягчение воды; 3) обессоливание воды; 4) дегазация воды.

Осветление воды, как показывает само название, имеет целью сделать воду по возможности прозрачной. Прозрачность воды является косвенным показателем ее мутности, т. е. содержания в воде взвешенных веществ.

Следует различать понятия мутности и прозрачности воды от ее цветности. Прозрачная вода может быть

окрашенной и, наоборот, бесцветная вода может быть мутной.

Освобождение воды, предназначенной для питания паровых котлов, от взвешенных веществ необходимо, как было указано выше, потому, что это уменьшает шламосодержание котловой воды, приводящее к образованию вторичной накипи и ухудшению качества выдаваемого котлом пара.

Напомним читателю, что по степени раздробления (дисперсности) все примеси воды разделяются на три группы: а) грубодисперсные вещества, б) коллоидно-дисперсные вещества и в) молекулярно-дисперсные вещества. Последняя группа включает в себя все растворенные в воде вещества, т. е. соли, щелочи, кислоты и газы. Собственно к взвешенным веществам относится первая группа веществ. При этом сюда мы будем в дальнейшем отнести не только примеси, попавшие к природную воду в результате ее кругооборота, но также вещества, выделяющиеся из воды в твердое состояние в процессе ее обработки, а также взвешенные вещества, попадающие в возвращаемый на электростанцию от производственных потребителей конденсат. К этим последним веществам относятся преимущественно окислы железа, а также масла.

Естественным процессом, приводящим к освобождению воды от грубодисперсных веществ, является отстаивание воды, при котором происходит их осаждение под действием силы тяжести. Скорость осаждения взвеси будет при этом зависеть прежде всего от размера частиц. Некоторое представление об этом дают следующие цифры для встречающейся в воде взвеси при температуре 10° С.

Название взвеси	Размер частиц, мм	Скорость осаждения, мм/сек
Крупный песок	1,0	100
Мелкий песок	0,1	8
Ил	0,01	0,154
Глина	0,001	0,00154
Тонкая глина	0,0001	0,0000154
Коллоидные частицы	0,00001	0,000000154

Если представить себе, что водой, содержащей взвесь с такой характеристикой, мы наполним резервуар с высотой уровня воды 1 м, то мелкий песок с размером частиц

стиц 0,1 мм оседает на дно этого резервуара уже через 2 мин, ил с частицами 0,01 мм выпадет только через 1 ч 48 мин, для осаждения глины с частицами 0,001 мм потребуется более 7 дней, а для коллоидных частиц - около 200 лет.

В природных водах обычно присутствует смесь взвешенных частиц различной крупности. В процессе естественного отстаивания воды происходит объединение (агломерация) мелких частиц в более крупные, что несколько ускоряет время осаждения взвеси.

Помимо этого, необходимо учесть, что обрабатываемая на водоподготовительных установках природная вода находится при этом в непрерывном движении. В частности, осаждение взвеси происходит в так называемых вертикальных отстойниках, получивших распространение на водоподготовительных установках электростанций и в промышленных предприятиях. Простейшая схема такого отстойника представлена на рис. 4-1. Как видно из этой схемы, вода со взвесью поступает в отстойник через центральную трубу, по выходе из которой вода поднимается вверх и через кольцевой сборный желоб покидает отстойник. Производительность такого отстойника определяется скоростью вертикального подъема воды и площадью поперечного сечения отстойника. Движение воды вверх задерживает осаждение взвешенных веществ, и по тому нежелательно допускать чрезмерно большую скорость подъема воды, которая может не только препятствовать осаждению взвеси, но также увлечь с собой некоторую часть ее. Так, например, если мы желаем, чтобы в таком отстойнике осели частицы ила размером 0,01 мм, осаждающиеся со скоростью 0,154 мм/сек, то скорость подъема воды должна быть заметно ниже этой скорости и составлять величину не более 0,05 мм/сек. При такой скорости подъема воды и производительности водоподготовительной установки 200 м³/ч потребуются площадь поперечного се-

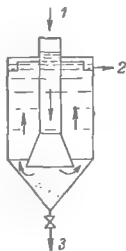


Рис. 4-1. Схема вертикального отстойника.
1 — центр. подъём; 2 — отвод воды; 3 — скопление осадка.

чения отстойников, равная около $1\ 100\ \text{м}^2$. Если принять диаметр отстойника равным $10\ \text{м}$, что дает площадь поперечного сечения около $75\ \text{м}^2$, то для указанных условий потребовалось бы установить 15 таких отстойников. Но и при этих условиях мы не получили бы достаточно полного осветления воды, так как и т. глинистая взвесь и коллоидные вещества с размером частиц менее $0,01\ \text{мм}$ утекали бы поднимающейся в отстойнике водой и уходили бы с ней через сборный желоб.

Таким образом, является совершенно очевидным, что осветление природных вод путем естественного их отстаивания является чрезвычайно громоздким и дорогим мероприятием.

[Вторым естественным процессом для освобождения воды от взвешенных веществ является фильтрование ее через какие-либо пористые вещества, которые, пропуская через себя воду, задерживают в своих порах или на их поверхности присутствующую в этой воде взвесь.] Этот процесс постоянно происходит в природе, когда поверхностные воды проникают через водопроницаемый грунт, образуя подземные артезианские и ключевые воды, отличающиеся исключительно высокой прозрачностью. Однако следует иметь в виду некоторые характерные особенности этой естественной фильтрации воды, отличающей ее от принудительного фильтрования воды через зернистые пористые материалы и позволяющие столь глубоко освобождать воду от взвешенных веществ. Этими особенностями природной фильтрации являются: чрезвычайно мелкая пористость водопроницаемых пластов, служащих фильтрующей средой, значительная их толщина, достигающая иногда нескольких десятков метров, и малые скорости фильтрования, порядка сотых и тысячных долей миллиметра в секунду и менее.

Обеспечение столь благоприятных условий фильтрования в производственных условиях потребовало бы громоздких и стоящих дорого сооружений. Так, например, для того чтобы осуществить фильтрование воды со скоростью $0,01\ \text{мм/сек}$ для водоподготовительной установки производительностью $200\ \text{м}^3/\text{ч}$, потребовалось бы иметь общую площадь фильтрования, равную около $5\ 500\ \text{м}^2$. Если принять площадь фильтрования одного

фильтра равной 55 м, то потребовалось бы для указанных условий установить 100 фильтров.

Таким образом, условия естественной фильтрации воды, так же как и естественного отстаивания ее, не могут быть непосредственно перенесены в производственные условия.

4-2. КОАГУЛЯЦИЯ ВОДЫ

Какие же мероприятия предпринимает техника водоприготовления для того, чтобы указанные выше естественные пути осветления воды — отстаивание и фильтрация — можно было бы достаточно эффективно применять в производственных условиях? Основным в числе этих мероприятий является коагуляция.

Слово «коагуляция» латинского происхождения и означает свертывание. При коагуляции происходит укрупнение мелкодисперсных и коллоидных частиц, в результате чего увеличивается скорость их осаждения, а также способность задерживаться пористыми фильтрующими материалами.

Как указывалось выше, коллоидные частицы, обладая электрическим зарядом, взаимно отталкиваются, что препятствует их укрупнению. Для устранения этого препятствия в обрабатываемую воду, содержащую обычно отрицательно заряженные коллоидные частицы, вводят искусственно созданные коллоидные частицы, имеющие положительный электрический заряд. Взаимодействие тех и других коллоидных частиц приводит к их взаимному притяжению, нейтрализации зарядов и укрупнению частиц.

К положительно заряженным коллоидам относятся гидраты окисей металлов, из которых наибольшее применение для осветления воды получили гидраты окисей алюминия и железа $Al(OH)_3$ и $Fe(OH)_3$. Для получения этих коллоидов в обрабатываемую воду вводят хорошо растворимые сернокислые (или хлористые) соли этих металлов, которые в результате гидролиза образуют малорастворимые гидраты окисей этих металлов, выпадающие в виде коллоидных частиц с положительным зарядом.

В упрощенном виде этот процесс можно представить в виде следующих двух последовательных стадий.

1) Растворение электролитическая диссоциация белей Алюминия и железа



2) Образование гидратов окислов



Таким образом, процесс коагуляции имеет целью прежде всего создать благоприятные условия для оседания в воды коллоидных частиц путем их слияния и укрупнения в результате нейтрализации зарядов этих частиц. Этот процесс необходим во всех случаях присутствия в воде коллоидных примесей, которые вследствие чрезвычайно малой величины их частиц не могут быть удалены осаждением и фильтрованием.

Помимо этой основной задачи, процесс коагуляции позволяет одновременно удалить из воды тонкодисперсные взвешенные вещества, которые хотя и не обладают электрическим зарядом и устойчивостью, как коллоиды, но все же из-за незначительности своих размеров имеют малую скорость оседания. Образующиеся в процессе коагуляции хлопья коагулянта, попадая в отстойник и опускаясь вниз навстречу поднимающейся воде, захватывают находящиеся в ней частички взвеси. Происходит своеобразный процесс фильтрования, при котором вода и фильтрующие хлопья коагулянта двигаются навстречу друг другу.

Осветление воды при помощи коагуляции осуществляется не только путем осаждения хлопьев коагулянта в отстойнике, но и путем пропускания воды с хлопьями через фильтры. В этом случае образующаяся на фильтре пленка из хлопьев коагулянта поможет задержанию присутствующей в воде тонкой взвеси. Обычно эти два пути сочетают вместе, осуществляя дополнительно после отстаивания фильтрование воды.

Следует обратить внимание на то, что благоприятное протекание процесса коагуляции зависит от многих

* При взаимодействии с растворенным в воде кислородом гидрат железа и железа переходит в гидрат окиси железа, выпадающий в виде хлопьев: $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3$.

факторов, влияние которых еще недостаточно полно изучено, в особенности при одновременном их действии.

Поскольку гидролиз является обратимым процессом, то, очевидно, большое влияние на коагуляцию должны оказывать концентрация ионов водорода и гидроксидов, т. е. величина pH воды. Помимо этого, на протекание процесса коагуляции влияет величина общего солевого состава воды и его характеристика, температура воды и др.

Вследствие этого не представляется возможным расчетным путем определить, какое количество солей алюминия или железа необходимо вводить в обрабатываемую воду для обеспечения оптимальных условий проведения процесса коагуляции. Эти оптимальные условия определяют обычно опытным путем в лабораторных условиях с последующей корректировкой в промышленных условиях или, что чаще, непосредственно на производственной установке.

4.3. КОАГУЛЯЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

Установки для осветления воды при помощи коагуляции в зависимости от способа удаления из воды взвеси и хлопьев коагулянта могут осуществляться по двум основным схемам: 1) коагуляционные установки с отстойником и 2) коагуляционные установки без отстойника.

На рис. 4-2 изображена принципиальная схема коагуляционной установки с отстойником. Как видно из представленной схемы, подтекающая осветлению сырая вода поступает прежде всего на распределитель воды, назначением которого является автоматическое распределение воды на ряд потоков соответственно предусмотренной схеме обработки воды. После распределителя основная часть обрабатываемой воды, пройдя через подогреватель, поступает в отстойник, а некоторая незначительная часть воды направляется в дозирующие устройства, из которых растворы коагулянта и щелочи также поступают в отстойник. Осветленная вода из отстойника направляется обычно для дополнительного осветления на механические фильтры. Сочетание отстойника с механическим фильтрованием вызывается не только стремлением получить более прозрачную воду, но также и желанием обеспечить более надежное осветление воды, учитывая возможные эпизодические нарушения работы отстойника вследствие колебания темпе-

ратуры обрабатываемой воды и производительности коагуляционной установки, что неизбежно приводит к выносу взвеси с вытекающей из отстойника водой.

Характерной особенностью представленной на рис. 4-2 установки является то, что все оборудование этой установки открытого типа, т. е. работает под атмосферным давлением. Поэтому обрабатываемая во-

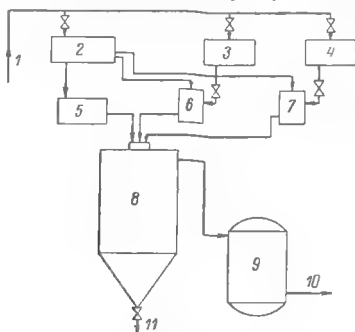


Рис. 4-2. Схема коагуляционной установки с отстойником.

1 — сырая вода; 2 — распределитель воды; 3 — бак раствора коагулянта; 4 — бак раствора едкого натра; 5 — подогреватель; 6 — дозатор коагулянта; 7 — дозатор едкого натра; 8 — отстойник; 9 — механический фильтр; 10 — осветленная вода.

да последовательно перетекает самотеком из одного аппарата в другой, для чего все они располагаются соответственно ступенями по высоте. На самой верхней ступени устанавливается распределитель воды, в который обрабатываемая вода подается из источника водоснабжения при помощи насоса. Из распределителя вода самотеком поступает на вторую ступень — дозаторы и подогреватели¹, откуда также самотеком на третью сту-

¹ Иногда подогрев воды осуществляется перед поступлением ее на распределитель воды с применением в этом случае напорных подогревателей трубчатого типа.

— отстойник, из которого также самотеком на механические фильтры или, что чаще, в промежуточный бак, из которого вода промежуточным насосом подается на механические фильтры.

На рис. 4-3 изображена принципиальная схема коагуляционной установки без отстойника. В отличие от установки с отстойником, где вода проходит через все оборудование самотеком, в этой схеме вся аппаратура закрытого типа и прохождение через нее обрабатываемой воды обеспечивается напором от насосов, питающих на установку сырую воду. Такие уста-

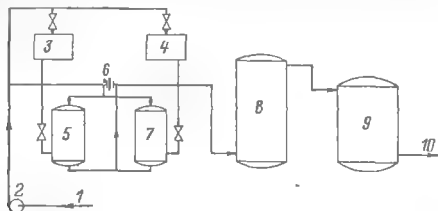


Рис. 4-3. Схема коагуляционной установки без отстойника.
1—сырая вода; 2—насос; 3—бак раствора коагулянта; 4—бак раствора едкого натра; 5—дозатор коагулянта; 6—шайба; 7—дозатор едкого натра; 8—смеситель-реактор; 9—механический фильтр; 10—осветленная вода.

новки часто называют прямоточными, поскольку они не имеют разрыва потока обрабатываемой воды.

Как видно из представленной схемы (рис. 4-3), обрабатываемая вода под давлением от насосов поступает в смеситель-реактор. При этом до поступления в него с помощью напорных шайбовых дозаторов вводятся непосредственно в трубопровод сырой воды раствор коагулянта и, если необходимо, раствор щелочи. Пройдя смеситель-реактор, вода поступает на механические фильтры.

Необходимость в смесителе-реакторе в настоящее время признается сомнительной, так как смешение реагентов с обрабатываемой водой достаточно хорошо обеспечивается в трубопроводе, имеющем обычно до входа в механические фильтры несколько поворотов. В то же время образующиеся в реакторе хлопья коагулянта измельчаются в дальнейшем при прохождении по трубопроводу от реактора до фильтров. При отсутствии реактора спокойное образование хлопьев коагулянта происходит в водяной подушке фильтров.

К процессам удаления из воды взвешенных и коллоидных веществ относится также обезмасливание производственных конденсатов. Масляные загрязнения содержатся обычно в конденсате в виде мелких капель, а также в виде очень тонко раздробленного масла, образующего с водой коллоидную систему (эмульсию). Удаление грубодисперсного масла (в виде капель) осуществляется путем фильтрования конденсата через механические фильтры, загруженные дробленым коксом или антрацитом с размером зерен 1-2 мм. Для более глубокого обезмасливания конденсата последний после механических фильтров пропускают через сорбционные фильтры, загруженные активированным углем, который благодаря своей пористости и развитой поверхности поглощает находящиеся в коллоидном состоянии масла.

Технологический процесс обработки воды по рассмотренным схемам каталитических установок и применяемое для осуществления этих процессов оборудование в большинстве своем сходно с процессами и оборудованием, применяемыми на водоподготовительных установках, обрабатывающих воду методами осаждения, которые рассматриваются в следующей главе.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ОБРАБОТКА ВОДЫ МЕТОДАМИ ОСАЖДЕНИЯ

5-1. СУЩНОСТЬ МЕТОДОВ ОСАЖДЕНИЯ

Сущность методов осаждения заключается в том, что присутствующие в обрабатываемой воде в растворенном состоянии вредные примеси в результате химического взаимодействия их с вводимыми в воду реагентами или вследствие термического их разложения образуют новые вещества, малорастворимые в воде и поэтому выделяемые из воды в твердом состоянии. Образованные таким образом соединения удаляются затем из воды путем ее отстаивания и фильтрования, как это осуществляется при осветлении воды, т. е. при удалении из нее взвешенных веществ, к которым в равной степени могут быть отнесены и образованные указанным методом твердые соединения.

Основной задачей при обработке воды методом осаждения является максимально возможное освобождение

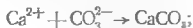
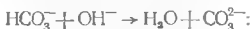
де: те обрабатываемой воды от содержащихся в ней катионов кальция и магния, поскольку, как мы уже знаем, именно эти катионы образуют малорастворимые в воде соединения в сочетании с анионами CO_3^{2-} и OH^- . К ним относятся карбонат кальция CaCO_3 и гидрат окиси магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$. В то же время нам известно, что произведение растворимости таких соединений есть величина постоянная и, следовательно, увеличение концентрации ион в этих соединениях вызывает выделение их из раствора в твердом состоянии. Отсюда вытекает решение: необходимо искусственно увеличить в обрабатываемой воде концентрацию тех анионов, с которыми эти катионы образуют малорастворимые соединения. В данном случае такими анионами являются CO_3^{2-} и OH^- .

Для повышения концентрации анионов CO_3^{2-} и OH^- в обрабатываемую воду дозруют растворы извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$, соды Na_2CO_3 и едкого натра NaOH . Эти реагенты также являются электролитами и, следовательно, в растворе распадутся на ионы: Ca^{2+} , Na^+ , CO_3^{2-} и OH^- .

В результате такой обработки воды ионы кальция и магния чаще встречаются с ионами CO_3^{2-} и OH^- и динамическое равновесие насыщенного раствора нарушается в сторону образования и выпадения в осадок малорастворимых соединений CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Кроме того, наличие в обрабатываемой воде избытка гидроксильных ионов OH^- приводит к превращению бикарбонатного иона HCO_3^- в карбонатный CO_3^{2-} . Происходит это потому, что сдвигается равновесие между ионами водорода и бикарбонатными ионами; гидроксильный ион связывается с водородным ионом, образуя воду, и таким образом понижает концентрацию иона водорода, что в свою очередь приводит к распаду HCO_3^- на H^+ и CO_3^{2-} .

Таким образом, при обработке воды методом осаждения при помощи извести, соды и едкого натра протекают следующие процессы между присутствующими в воде ионами:



Поскольку растворимость карбоната кальция и гидрата окиси магния находится в обратной зависимости от концентрации в воде ионов CO_3^{2-} и OH^- , то очевидно, что конечная остаточная концентрация ионов кальция и магния в обработанной воде, определяющая ее жесткость, будет тем меньше, чем больше избыток ионов CO_3^{2-} и OH^- , а так как содержание в воде ионов CO_3^{2-} и OH^- определяет величину ее щелочности, то можно сказать, что умягчение воды методом осаждения будет тем глубже, чем больше избыток щелочности в обработанной воде.

Следует обратить внимание на то, что методом осаждения не удается получить достаточно глубокого умягчения воды. Объясняется это, во-первых, тем, что CaCO_3 и Mg(OH)_2 обладают все же некоторой растворимостью в воде и, во-вторых, достижением предела растворимости данного соединения еще не заканчивается процесс выделения его в осадок. Сначала получается пересыщенный (против предела его растворимости) раствор соединения, после чего начинаются процессы кристаллизации и образования осадка этого соединения, требующие известного времени и условий, не всегда в достаточной мере обеспечиваемых.

Помимо коагуляции и умягчения воды методом осаждения, такого рода установки используются также для обескремнивания воды, т. е. для удаления из нее кремниевой кислоты, присутствующей в виде иона SiO_3^{2-} или коллоидной SiO_2 . Обескремнивание воды становится необходимым при обработке воды для питания котлов высокого и сверхвысокого давлений, когда образующийся в котлах насыщенный пар обладает способностью растворять присутствующие в котловой воде соединения. При этом в относительно больших размерах по сравнению с другими веществами способна раствориться в паре высокого давления кремниевая кислота, попадающая с паром в турбину и образующая на лопатках трудноудаляемые силикатные отложения.

При коагуляции и известковании воды происходит некоторое незначительное (на 30—40%) обескремнивание воды. Для более глубокого удаления кремниевых соединений одновременно с известью дозируют окись магния в виде каустического магнезита или обожженного доломита. Окись магния, а также образующиеся хлопья

гидрата окиси магния адсорбируют на своей поверхности кремниевую кислоту, при этом удается довести остаточное содержание кремниевой кислоты в обработанной воде до 0,8—1,5 мг/л.

При обработке воды методом осаждения несколько снижается концентрация растворенных в ней веществ за счет выделения части из них в осадок. Происходит, следовательно, как бы частичное обессоливание воды.

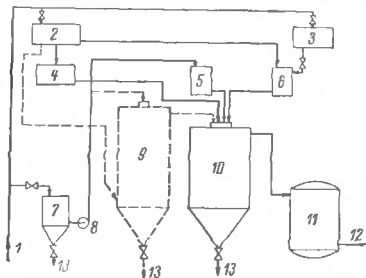


Рис 5-1. Схема обработки воды методом сжигания.

1 — сырая вода; 2 — распределитель воды; 3 — бак раствора коагулянта; 4 — подогреватель; 5 — дозатор известкового и магнезитового молока; 6 — дозатор козьягги; 7 — бак известкового и магнезитового молока; 8 — насос; 9 — самотек; 10 — отстойник; 11 — механический фильтр; 12 — обратная вода; 13 — выпуск осадка.

На рис. 5-1 представлена схема обработки воды методом осаждения, включающая в себя коагуляцию, известкование и магниальное обескремнивание воды. Как видно из этой схемы, такого рода установки, как же как и коагуляционные установки, предусматривают выполнение следующих операций: 1) приготовление рабочих растворов реагентов; 2) дозирование растворов реагентов; 3) нагревание воды; 4) смешение реагентов с водой; 5) удаление образовавшихся твердых веществ путем отстаивания воды; 6) удаление образовавшихся твердых веществ путем механического фильтрования воды.

В указанной последовательности рассмотрим оборудование этих установок и условия их работы.

5-2. ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАБОЧИХ РАСТВОРОВ РЕАГЕНТОВ

Для обработки воды методом осаждения применяют два вида реагентов: хорошо растворимые в воде, к которым относится коагулянт (сернистый алюминий или сернистое железо) и щелочи (сода или едкий натр), и плохо растворимые в воде — известь, каустический магnezит, доломит.

Наиболее распространенной для приготовления рабочих растворов хорошо растворимых реагентов является схема с гидравлической мешалкой, изображенная на рис. 5-2.

Как видно из этой схемы, для приготовления раствора реагента в данном случае предусматривается следующее оборудование: гидравлическая мешалка 1, насос 2 и расходный бак 3, из которого готовый раствор поступает в дозатор. Гидравлическую мешалку и насос располагают внизу (на нулевой отметке) вблизи склада реагента, что облегчает его загрузку в мешалку, а расходный бак реагента устанавливают наверху, выше дозаторов (рис. 4-2 и 4-4), с тем чтобы раствор из бака поступал в дозатор самотеком.

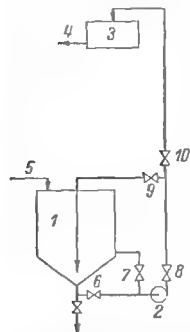


Рис. 5-2. Схема приготовления растворов хорошо растворимых реагентов.
1 — гидравлическая мешалка;
2 — насос; 3 — бак раствора реагентов; 4 — к дозатору;
5 — вода.

Мешалка имеет обычно в верхней части сетчатую корзину, предназначенную для загрузки реагента. Такая корзина необходима преимущественно для коагулянтов, так как технические продукты их содержат большое количество посторонних не растворимых в воде примесей, которые в значительной части задерживаются в корзине и могут быть затем легко удалены. Остальная часть нерастворившихся примесей оседает в конической части мешалки, откуда периодически удаляется в канализацию.

Для ускорения растворения реагента и обеспечения равномерной его концентрации во всем объеме раствора предусмотрено гидравлическое перемешивание реагента с водой. Осуществляется это при помощи насоса, который забирает воду из нижней части мешалки и возвращает ее обратно через верхнюю часть мешалки, создавая, таким образом, непрерывную циркуляцию воды. При этом открыты задвижки 6, 8 и 9. Обычно достаточно 15—20 мин такой циркуляции для хорошего перемешивания раствора, после чего насос останавливают и дают раствору отстояться. Подачу осветленного раствора в расходный бак осуществляют при помощи того же насоса. При этом открывают задвижки 7, 8 и 10.

Внутренняя поверхность мешалки, насоса, трубопроводов и арматуры для коагулянтов должна иметь противокислотную защиту (гуммирование или пластмассовые пленки), так как растворы сернистого алюминия и железа имеют кислую реакцию и разъедают металл. Нередко поэтому баки для приготовления и расходования растворов этих реагентов делают деревянными. Растворы щелочи не разрушают металл. Плохо растворимые в воде реагенты — известь и магнезит — дозируются обычно

в виде так называемого известкового или магнезитового молока, представляющего собой взвешенные в насыщенном растворе мельчайшей частицы известня и магнезита, количество которых определяет ту или иную концентрацию молока.

На установках небольшой производительности, работающих по схеме коагуляция и известкование воды, известь дозируют в виде насыщенного раствора, приготовляемого и дозируемого при помощи аппарата, называемого сатуратором, куда предварительно загружают концентрированное известковое молоко. Эта часть установки изображена на рис. 5-1 пунктиром.

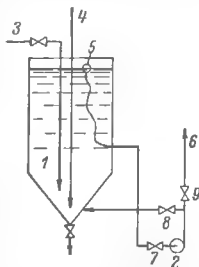


Рис. 5-3. Схема приготовления молока малорастворимых реагентов.

1—гидравлическая мешалка; 2—насос; 3—вода; 4—избыток молока из дозатора; 5—поплавок с резиновым шлангом; 6—в дозатор или в сатуратор.

Приготовление известкового или магнезитового молока осуществляют обычно по схеме, изображенной на рис. 5-3. Гашеную известь и магнезит загружают в мешалку 1 и разбавляют водой по трубопроводу 3. Затем с помощью насоса 2 производят перемешивание реагентов с водой для создания однородной консистенции молока в мешалке, для чего открывают задвижки 7 и 8. К всасывающему патрубку насоса прикрепляется резиновая трубка с укрепленным на ее конце поплавком 6, благодаря чему насос забирает раствор: его поверхность, что предотвращает засасывание осевшего в конической части мешалки шлама. После перемешивания закрывают задвижку 8 и открывают задвижку 9, через которую под напором от насоса 2 известковый или магнезитовый раствор направляется в танкатор, из которого большая часть молока (около 95%) через переливное устройство дозатора возвращается по трубе 4 в коническую часть мешалки, обеспечивая тем самым непрерывное перемешивание молока и сохранение постоянства его концентрации.

Емкость мешалок и расходных баков рассчитывают обычно на суточную потребность установки с тем, чтобы операции по приготовлению рабочих растворов выполнялись только в дневную смену. Число устанавливаемых мешалок и баков определяют в зависимости от производительности установки.

5-3. ДОЗИРОВАНИЕ РЕАГЕНТОВ

Если производительность водоподготовительной установки и качество сырой воды не претерпевают заметных колебаний, оставаясь все время достаточно постоянными, то количество вводимого в обрабатываемую воду реагента на такой установке также будет постоянным и определяется согласно установленной дозировке этого реагента. Так, например, для водоподготовительной установки производительностью $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ при дозе сернистой кислоты 90 г на каждый кубометр обрабатываемой воды потребуется вводить в течение каждого часа работы установки $(200 \cdot 90) : 1000 = 18 \text{ кг}$ кислоты. Если концентрация рабочего раствора этого реагента равна 5%, то, пренебрегая плотностью раствора, можно ориентировочно считать, что потребуются расходовать такого раствора около $(18 \cdot 100) : 5 = 360 \text{ л}$ в 1 ч. Обеспечить постоянный расход раствора можно

лянта при этих условиях для установок открытого типа можно достаточно точно по схеме, изображенной на рис. 5-4.

Как показано на этой схеме, раствор коагулянта поступает из расходного бака 1 в бачок 2 через клапан 3 с поплавком 4, благодаря которому в нем поддерживается постоянный уровень. Из бачка 2 раствор вытекает в воронку 6 и далее по трубопроводу в отстойник. Расход реагента устанавливают, регулируя степень открытия крана 5 при помощи мерного стакана и се-

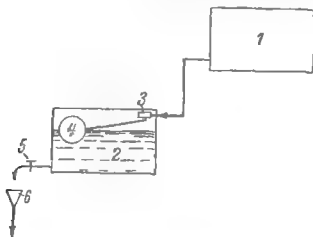


Рис. 5-4. Дозатор постоянной дозы.

куломера. Так, например, для обеспечения подсчитанного выше расхода 360 л/ч требуется иметь секундный расход $360 : 3600 = 0,1$ л/сек. Следовательно, в этом случае можно отрегулировать открытие крана так, чтобы мерный стакан емкостью 1 л наполнялся в течение 10 сек. Поскольку при этом напор раствора реагента над краном остается постоянным (при постоянном уровне воды в бачке), установленный через кран расход реагента также будет постоянным.

Описанное устройство носит название дозатора постоянной дозы. На водоподготовительных установках электростанций, где производительность установки может претерпевать значительные и частые колебания, дозаторы постоянной дозы являются нецелесообразными, так как они вызывали бы нарушение технологического процесса и приводили бы к ухудшению качества обработанной воды. Кроме того, в периоды пони-

жения производительности установки такой дозатор вызывал бы излишний расход реагента и, следовательно, удорожал бы себестоимость обработки воды. Нельзя себе представить также, чтобы эксплуатационный персонал следил бы за изменениями расхода воды и соответственно этому устанавливал бы кран 5 бачка 2 на новый расход. Не говоря уже о том, что такой способ дозирования потребовал бы постоянного присутствия около дозатора сменного персонала, он не обеспечивал бы плавного изменения дозы реагента соответственно изменению производительности установки. Вот почему на современных водоподготовительных установках применяют преимущественно дозирующие устройства, которые без вмешательства эксплуатационного персонала автоматически поддерживают заданную дозировку реагента, независимо от колебания производительности установки, т. е. обеспечивают сохранение заданного соотношения между расходами реагента и обрабатываемой воды в необходимой пропорции. Такие дозаторы носят название пропорциональных.

В данном случае эти дозаторы должны работать пропорционально изменению количества обрабатываемой воды. Но, как известно, может возникнуть потребность в изменении дозы реагента не только вследствие изменения количества обрабатываемой воды, но также из-за изменения ее качества. В этом случае нужны дозаторы, работающие пропорционально изменению качества обрабатываемой воды. Такие дозаторы у нас пока не применяются из-за отсутствия необходимых для этого достаточно надежно действующих автоматических анализаторов качества воды (жесткомеры, щелочемеры, кремнемеры и др.). Кроме того, следует иметь в виду, что изменения качества исходной сырой воды обычно имеют сезонный характер и поэтому требующиеся в связи с этим изменения расхода дозируемого реагента могут быть выполнены эксплуатационным персоналом, без значительной затраты рабочего времени. Разумеется, в дальнейшем, при наличии надежных, простых по устройству и недорогих автоматических анализаторов качества воды, целесообразно переходить на применение дозирующих устройств, обеспечивающих пропорциональное дозирование реагентов как в зависимости от изменения количества, так и качества обрабатываемой воды.

а) Распределитель воды

Каким же образом достигается пропорциональность дозирования реагентов в зависимости от производительности водоподготовительной установки? На установках с оборудованием открытого типа, работающего под атмосферным давлением (рис. 4-2 и 5-1), применяют дозирующие устройства также открытого типа, причем эти дозаторы, как будет показано далее, устроены таким образом, что количество выдаваемого ими раствора реагента зависит от количества поступающей на них некоторой части исходной сырой воды. Расход последней изменяется автоматически, строго пропорционально изменению производительности водоподготовительной установки при помощи главного аппарата таких установок — распределителя воды, на который поступает вся подлежащая обработке сырая вода и который обеспечивает пропорциональную работу всех дозаторов данной установки.

Рассмотрим устройство и работу одного из применяемых на отечественных установках распределителя воды, схема конструкции которого представлена на рис. 5-5. Как видно из этой схемы, водораспределитель является аппаратом открытого типа, состоящим из системы последовательно расположенных водосливов, при помощи которых осуществляется отделение от общего потока обрабатываемой воды необходимого ряда струй, направляемых на дозирующее устройство. Каждая такая отделяемая струя воды составляет определенную часть общего потока и устанавливается в зависимости от необходимого количества дозируемого реагента. Это отношение расхода воды в каждой струе к общему расходу обрабатываемой воды будет благодаря водосливам сохраняться постоянным, т. е. при увеличении или уменьшении производительности установки соответственно будет увеличиваться или уменьшаться расход воды в каждой струе, чем и обеспечивается дозирование реагента пропорционально количеству обрабатываемой воды.

Для надежной работы распределителя воды необходимо обеспечить плавное спокойное перетекание воды через водосливы. Поэтому перед каждым водосливом располагаются бачки с успокоительными перегородка-

ми и решетками. Водораспределитель, представленный на рис. 5-5, имеет три водослива: один подвижный и два неподвижных. Работа этого водораспределителя происходит следующим образом (рис. 5-5,а, а также рис. 5-5,б, где дана схема потоков воды в этом распределителе). Исходная сырая вода подается к водораспределителю через штуцер 1 и попадает в приемный успокоительный бачок 2, по выходе из которого поступает на прикрепленный к этому бачку подвижной водослив 3, представляющий собой сливной порог, снабженный двумя передвигающимися вдоль него ползунками, при помощи которых в зависимости от качества обрабатываемой воды отсекаются две струи воды с каждого бока порога, направляемые при помощи прикрепленных к этим ползунам сливных лотков в соответствующие приемные бачки. Остальная большая часть потока воды, перетекающая через среднюю основную часть порога, стекает непосредственно в сборное корыто 12, откуда через штуцер 13 направляется в подогреватель 14 и далее в отстойник 15. Вода, поступающая в левый бачок 4, направляется далее по трубопроводу в сатуратор 5 и затем в отстойник 15. Вода из правого приемного бачка 6 перетекает в успокоительный бачок 7, по выходе из которого проходит через укрепленный на нем первый неподвижный водослив 8, представляющий собой металлическую планку с рядом отверстий расчетного диаметра. Вытекаемые из этих отверстий струи воды стекают в сборное корыто 12 и далее в подогреватель 14 и отстойник 15. Одна из этих струй при помощи лотка направляется в успокоительный бачок 9, по выходе из которого проходит через укрепленный на нем второй неподвижный водослив 10, представляющий собой, так же как и первый водослив, металлическую планку с рядом отверстий расчетного диаметра. Одна или две из этих струй направляются при помощи лотков и воронок с трубопроводами к соответствующим дозирующим устройствам 11, а вода из остальных отверстий стекает также в сборное корыто 12 и далее в подогреватель 14 и отстойник 15.

Может возникнуть вопрос, для чего необходим такой тройной каскад водосливов. Нельзя ли непосредственно с первого водослива отделить необходимые по числу работающих дозаторов струи воды, обеспечивая

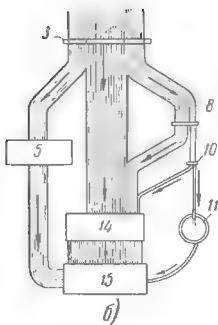
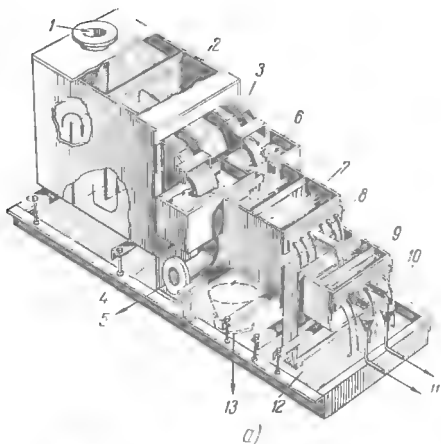


Рис. 5-5. Распределитель воды.
а — общий вид; б — схема потоков воды

щие их пропорциональное дозирование, и таким образом значительно упростить конструкцию водораспределителя. Это можно было бы сделать, если расход воды, необходимый для дозаторов, был бы достаточно велик по сравнению с общим расходом обрабатываемой воды. Однако это имеет место только в отношении сатуратора, куда обычно отводится примерно 10—15% воды от общего его потока через подвижной водослив. Поэтому воду на сатуратор отсекают с первого водослива.

Относительно большой расход воды, отводимой на сатуратор, объясняется следующими обстоятельствами. В сатураторе в результате пропуска через него отсекаемой от водораспределителя воды готовится насыщенный раствор извести (гидрат окиси кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$). А так как известь обладает плохой растворимостью (табл. 3-1), то даже при незначительном расходе этого реагента требуется относительно большой расход воды для получения его раствора в воде.

Что же касается других реагентов, то, благодаря их хорошей растворимости в воде, имеется возможность готовить их рабочие растворы с концентрацией 5—10%, вследствие чего расход таких растворов по отношению к общему количеству обрабатываемой воды не превышает обычно 0,2%. При длине подвижного водослива 100 см в работе дозатора по принципу вытеснения раствора реагента, т. е. когда расход воды на дозатор равен расходу раствора реагента, потребовалось бы отсекал струю шириной всего лишь 2 мм, что трудно осуществить с достаточной точностью, да к тому же при такой струе не обеспечивалось бы пропорциональное изменение ее расхода с изменением производительности установки ввиду заметного местного сопротивления перетеканию воды через такой узкий порог.

Это затруднение легко устраняется при помощи дополнительных водосливов, которые позволяют иметь достаточно большой расход воды в отделяемых струях, и тем самым обеспечить удовлетворительную точность и надежность работы водораспределителя. Так, например, при описанной конструкции водораспределителя и наличии восьми отверстий в каждом неподвижном водосливе расход одной струи составляет 1/8 общего расхода данного водослива, т. е. 12,5%, а количество воды, которое при этом необходимо отсечь на первом, подвижном водосливе, будет в 64 раза больше расхода воды из одной струи последнего, третьего, водослива.

б) Безнапорные дозаторы

К дозирующим устройствам открытого типа для легкорастворимых реагентов, применяемым на коагуляционных и умягчительных установках, относятся дозатор-вытеснитель и сифонный дозатор.

Дозатор-вытеснитель, как показывает его название, работает путем вытеснения водой раствора дозируемого реагента. Устройство такого дозатора весьма простое и ясно из представленной на рис. 5-6 схемы. Дозатор-вытеснитель состоит из двух прямоугольных

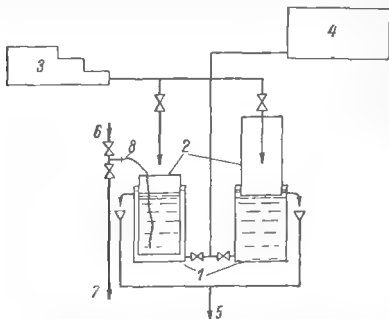


Рис. 5-6. Схема дозатора-вытеснителя безнапорного.
1 — реагентный бак; 2 — поплавко-вытеснитель; 3 — водораспределитель; 4 — бак раствора реагента; 5 — в отстойник; 6 — сырая вода; 7 — в дренаж; 8 — гибкий шланг.

или цилиндрических баков, один из которых 2 (внутренний) имеет несколько меньшие размеры, что позволяет ему свободно перемещаться в другом баке 1 (наружном) в вертикальном направлении. Раствор реагента из расходного бака 4 подают через боковой нижний штуцер в наружный бак 1, наполнение которого определяется вытеканием раствора через верхний боковой штуцер, откуда раствор по трубопроводу 5 направляется в смеситель отстойника. При заполнении наружного бака раствором реагента внутренний пустой бак, плавая в этом растворе, поднимается, как поплавок, соответ-

венно в наивысшее положение (на рис. 5-6 правый бак). После этого дозатор готов к работе, для чего направляют в наружный бак-поплавок 2 отсекаемую по расчету струю воды из водораспределителя 3, в результате чего бак-поплавок будет постепенно погружаться в раствор реагента и вытеснять его из наружного бака 1 в отстойник в количестве, равном количеству воды, поступающей в наружный бак.

Вследствие того что удельный вес раствора реагента в наружном баке будет несколько больше удельного веса воды в поплавке, количество вытекающего раствора реагента будет соответственно несколько меньше количества поступающей в бак-поплавок воды. Однако эта разница в расходах очень незначительна, и поэтому ею можно пренебречь.

Обычно устанавливают два дозатора-вытеснителя, из которых один работает, а другой находится в резерве, в готовом к работе состоянии. Когда из работающего дозатора будет вытеснен весь раствор реагента (на рис. 5-6 левый бак), что обнаруживается по прекращению вытеснения струи из бокового штуцера наружного бака, его отключают путем прекращения подачи воды из распределителя в наружный бак и включают в работу второй, резервный дозатор, а отключенный дозатор готовят вновь к работе, для чего сначала опорожняют бак-поплавок при помощи сифона, создаваемого гибким шлангом, а затем заполняют, как описано выше, наружный бак раствором реагента. Для зарядки сифона к шлангу подводится сырая вода.

Движение бака-поплавок в наружном баке регулируется направляющими уголками, предотвращающими его перекос и заклинивание. При дозировании кислых реагентов внутренняя поверхность наружного бака и наружная поверхность бака-поплавок должны иметь противокоррозионное покрытие. Еще лучше изготавливать в этих случаях оба бака из пластмассы.

Работа сифонного дозатора основана на изменении расхода вытекающего из сифонной трубы раствора реагента вследствие изменения напора, под которым вытекает этот раствор. Устройство этого дозатора схематично изображено на рис. 5-7. Раствор реагента из расходного бака 1 поступает в бачок 2 через поплавок-клапан 3, благодаря чему в этом бачке поддерживается постоянный уровень раствора реагента.

та В этот бак опущен один конец сифонной трубки 4, по которой раствор реагента вытекает через другой конец трубки в приемную воронку 5 и далее по трубопроводу 6 в отстойник. В бак 7 поступает струя воды, отделенная с водораспределителя 8, и вытекает из этого бака через калиброванное отверстие 8 и трубопровод 9 также в отстойник. Живое сечение этого отверстия может изменяться при помощи конуса 9, передвижение

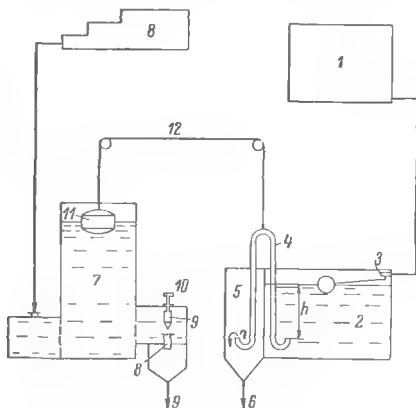


Рис 5-7 Схема сифонного дозатора.

которого осуществляется вращением маховичка 10. Такой регулирующий конус необходим для того, чтобы при первоначальном запуске дозатора обеспечить поддержание достаточного уровня воды в этом баке, так как при очень малом расходе через это отверстие возможно переполнение бака, а при чрезмерно большом расходе может не быть достаточного уровня воды в нем. Бак имеет поплавок 11, который с помощью троса и блока 12 связан с сифонной трубкой. Если производительность водоподготовительной установки не изме-

няется, то уровень воды в бачке будет также постоянным, так как количество поступающей в него из водораспределителя воды уравнивается количеством воды, вытекающей из него через калиброванное отверстие 8. Следовательно, и положение сифонной трубки тоже не будет изменяться и установленный из нее расход реагента будет также постоянным. При уменьшении производительности установки соответственно автоматически уменьшится расход струи воды, отсекаемой на водораспределителе для сифонного дозатора, и, следовательно, уменьшится приток воды в бачок 7. Для уравнивания этого уменьшенного притока воды необходимо соответствующее уменьшение расхода воды из бачка через калиброванное отверстие, что осуществляется также автоматически, так как уровень воды в этом бачке при уменьшении притока ее начнет понижаться до тех пор, пока в результате этого понижения расход воды через калиброванное отверстие не уравнивается с расходом воды в бачок и таким образом система опять не придет в состояние равновесия. Понижение уровня в бачке 7 приведет к соответствующему перемещению вверх связанной с ним посредством поплавка 11 и троса 12 сифонной трубки 4, а так как уровень раствора в реагентном бачке благодаря поплавковому клапану остается постоянным, то поднятие сифона приведет к уменьшению высоты столба раствора реагента над открытым концом сифонной трубки и соответственно вызовет уменьшение расхода реагента через сифон. То же самое, но в обратном порядке, произойдет при увеличении производительности водоподготовительной установки: приток воды в водяной бачок от водораспределителя увеличится, это вызовет повышение в нем уровня воды и поплавок, который соответственно опустит сифонную трубку и таким образом поднимет высоту столба раствора реагента над ее открытым концом, увеличив расход через нее раствора реагента.

Сифонные трубки изготавливаются из стекла, меди, нержавеющей стали или из пластмассы. При дозировании кислых растворов поверхности всех металлических частей дозатора, соприкасающиеся с раствором реагента, покрываются защитным покрытием.

Для дозирования малорастворимых реагентов (известь, магнезит) применяют сатуратор или дозатор

известкового и магнезиевого молока, а также устройства для сухого дозирования этих реагентов.

Сатуратор предназначен для приготовления и пропорционального дозирования насыщенного раствора извести. С этой целью применяют так называемые двухкамерные сатураторы. Схема такого сатуратора

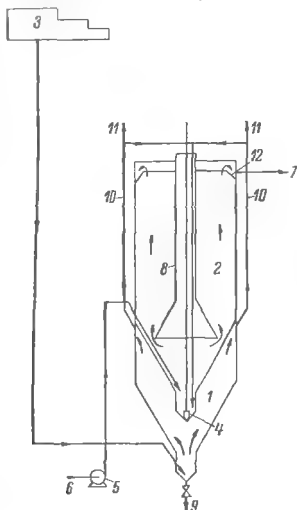


Рис. 5-8. Схема двухкамерного сатуратора.

представлена на рис. 5-8. Приготовленное в гидравлической мешалке (рис. 5-3) известковое молоко засасывается по трубопроводу 6 насосом 5 и подается в верхнюю камеру 2 сатуратора, откуда при помощи клапана 4 перепускается в нижнюю камеру 1, а затем подается тем же насосом вторая порция известкового молока

в верхнюю камеру 2. После загрузки обеих камер известковым моющим сатуратор включается в работу. При этом вода, отсекаемая от подвижного водослива распределителя воды 3, поступает в нижнюю часть камеры 1 сатуратора и, проходя через известковое молоко, частично насыщается известью. Далее раствор извести поднимается по камере 1 вверх и по перепускным трубам 10 поступает в нижнюю часть камеры 2, где происходит окончательное насыщение воды известью. Отсюда насыщенный раствор медленно поднимается вверх по цилиндрической части сатуратора и освобождается от увлекаемых с водой мелких частичек извести, оседающих в коническую часть камеры 2. Выделяющиеся из воды пузырьки воздуха улавливаются расположенной в камере 2 центральной трубой 8, оканчивающейся коническим раструбом. Воздух из камеры 1 в значительной части отводится через концы 11 перепускных труб 10. Удаление воздуха необходимо для устранения возможного взмучивания известкового молока, а также чтобы не мешать спокойному оседанию взвеси из поднимающегося вверх насыщенного раствора извести. Осветленный насыщенный раствор извести поступает в сборный желоб 12 и далее по трубопроводу 7 направляется в отстойник. Таким образом, проходящий от водораспределителя через сатуратор поток воды непрерывно насыщается¹ известью и в виде насыщенного раствора, т. е. раствора, содержащего постоянное количество извести в единице объема раствора, поступает в отстойник. В соответствии с этим и необходимой дозировкой извести для обработки данной воды определяют необходимое количество воды, отсекаемое с подвижного водослива распределителя воды, который автоматически поддерживает заданную дозировку при колебаниях производительности водоподготовительной установки.

Обработанная известь в виде шлама и нерастворимых примесей выпускается из нижней камеры 1 сатуратора через задвижку 9, после чего в эту камеру перепускается путем открытия клапана 4 частично отработанная известь из верхней камеры 2, куда загружают свежее известковое молоко из гидравлической мешалки.

¹ Отсюда и название аппарата — сатуратор, что в переводе с латинского значит — насыщатель.

Основное условие нормальной работы сатуратора — получение осветленного насыщенного раствора извести. Наличие в таком растворе взвешенных частичек извести нарушает постоянство концентрации получаемого раствора и тем самым нарушает заданную дозировку реагента. Поэтому при расчете конструкции сатуратора принимают время пребывания в нем воды в пределах 8–10 час и скорость подъема воды в цилиндрической части сатуратора не более 0,8–1,0 м/ч, что приводит к необходимости иметь такие аппараты большой емкости и, следовательно, больших размеров. Это обстоятельство ограничивает применение сатураторов водоподготовительными установками небольшой производительности, преимущественно порядка 50 т/ч и ниже.

Для установок большой производительности применяют у нас безнапорные шайбовые дозаторы, дозирующие известь и магнзит в виде молока. Схема такого дозатора представлена на рис. 5-9. Известковое молоко из гидравлической мешалки подается насосом по трубопроводу 9 в бачок 2, снабженный перетивным желобом, благодаря которому уровень молока в нем поддерживается постоянным. Избыток молока из желоба возвращается по трубопроводу 11 обратно в мешалку, способствуя перемешиванию в ней молока. В бачке 2 подвешена на блоке трубка 4 с калиброванной шайбой 5. Эта трубка связана тросом с поплавком 13 в бачке 1, куда от распределителя воды подводится одна из отделенных на водосливе струй, вследствие чего уровень воды в бачке 1 изменяется пропорционально изменению производительности водоподготовительной установки. Обеспечение колебания уровня в бачке 1 в допустимых пределах достигается подбором сечения шайбы 5, через которую вода из бачка 1 по трубе 12 направляется в отстойник.

Известковое молоко из бачка 2 поступает через калиброванную шайбу 5 в трубу 4 и далее по трубопроводу 12 направляется в отстойник. Количество поступающего в отстойник реагента зависит от концентрации молока и сечения шайбы 5, которое подбирается соответственно исходным условиям данной установки. Помимо этого, расход молока по трубке 4 будет изменяться в зависимости от глубины ее погружения в бачке 2, т. е. от расстояния между калиброванной шайбой 5

И уровнем молока в бачке 2, остающегося все время неизменным. Трубка 4 свободно, без сальника, проходит сквозь дно бачки 2. Просачивающееся через кольцевую щель в бачке 2 известковое молоко собирается в специальный укрепленный на трубке 4 сосуд 7, откуда оно вместе с молоком из перелива возвращается по трубе 11 в гидравлическую мешалку.

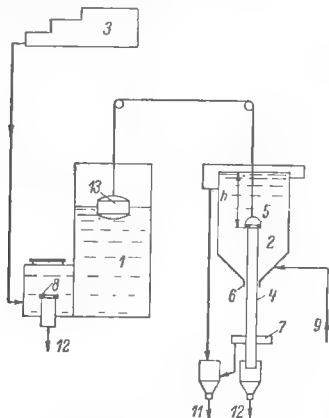


Рис. 5-9. Схема безнапорного шайбового дозатора известкового молока.

При увеличении расхода обрабатываемой воды пропорционально увеличивается приток воды от распределителя в бачок 1, что приводит к повышению в нем уровня воды и соответствующему опусканию трубки 4 и, следовательно, к увеличению глубины погружения ее в бачке 2 и повышению дозы молока, направляемого в отстойник. При уменьшении расхода обрабатываемой воды понижается уровень воды в бачке 1 и соответственно поднимается трубка 4, что приводит к уменьшению количества дозируемого молока.

На отечественных водоподготовительных установках большой производительности получило за последние годы некоторое применение дозирование реагентов в сухом виде, что имеет значительное преимущество перед «мокрым» дозированием, особенно для малорастворимых реагентов (известь, магнезит), при этом требуется, однако, иметь специально подготовленные материалы, однородные по крупности и составу. Сухое дозирование широко применяется в США.

в) Напорные дозаторы

Наиболее распространенным у нас напорным дозатором для коагулянта и щелочи является напорный дозатор-вытеснитель или, как его чаще называют, шайбовый дозатор, поскольку вытеснение водой раствора реагента в напорный трубопровод обрабатываемой воды (рис. 5-10) происходит в нем за счет перепада давления, создаваемого на этом трубопроводе дроссельной диафрагмой (шайбой). Вода из напорного трубопровода под давлением поступает в верхнюю часть дозатора, представляющего собой цилиндрический стальной резервуар со сферическими днищами и рассчитанный на давление воды в трубопроводе 3. Вытесняемый водой из дозатора раствор реагента подается в тот же трубопровод непосредственно за диафрагмой, где вследствие создаваемого ею сопротивления потоку воды давление ниже, чем перед диафрагмой.

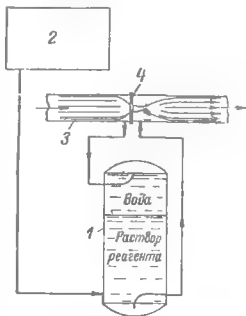


Рис. 5-10. Схема напорного шайбового дозатора.

1 — дозатор; 2 — бак раствора реагента;
3 — напорный трубопровод обрабатываемой воды; 4 — диафрагма.

С целью воспрепятствовать некоторому неизбежному смешению воды с вытесняемым ею раствором реагента, нарушающему нормальную работу дозатора, целесообразно применение резинового или пластмассового мешка, соответствующего по форме половине резервуара дозатора и укрепляемого между фланцами, разделяющими дозатор на две равные половины.

Существенным недостатком напорных шайбовых дозаторов, а также рассмотренных выше безнапорных дозаторов (вытеснителей, сифонных, шайбовых), является их чувствительность к значительным и резким колебаниям производительности водоподготовительной установки, при которых точность их работы заметно ухудшается. Кроме того, система безнапорных дозаторов требует установки над отстойником, помимо самих дозаторов, распределителя воды и баков растворов реагентов, что увеличивает высоту здания. Эти недостатки устраняются путем применения для дозирования реагентов объемных насосов-дозаторов плунжерного типа, пропорциональность дозирования которых обеспечивается электронными регуляторами, поддерживающими заданное отношение расхода реагента и расхода обрабатываемой воды. Насосы-дозаторы имеют широкое распространение за рубежом и начинают применяться на отечественных установках.

5-4 НАГРЕВАНИЕ И СМЕШЕНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ВОДЫ С РЕАГЕНТАМИ

Скорость химических реакций, как указывалось выше, зависит в первую очередь, согласно закону действия масс, от концентрации реагирующих веществ, так как чем больше количество молекул этих веществ в данном объеме, тем больше вероятность их встречи (столкновения) и взаимодействия друг с другом. Кроме того, на скорость реакции оказывает влияние также и температура реагирующих веществ, так как с ее повышением возрастает скорость движения молекул, что в свою очередь увеличивает вероятность столкновения между ними. Согласно опытным данным известно, что скорость большинства химических реакций, при повышении температуры на каждые 10° увеличивается примерно в два раза. Увеличение скорости реакции, очевидно, способствует также тщательное перемешивание реагирующих веществ.

Из сказанного становится ясным, какое существенное влияние должны оказывать температура и условия смешения воды с реагентами при обработке ее методом осаждения, поскольку здесь имеет место химическое взаимодействие различных реагентов с растворенными

в воде веществами. Это обстоятельство становится еще более важным, если учесть, что вероятность встречи реагентов с растворенными в воде веществами при проведении методов осаждения в природных водах относительно невелика вследствие весьма незначительной концентрации присутствующих в этих водах солей. Достаточно напомнить читателю, что в подавляющем большинстве природных вод СССР общее количество растворенных солей не превышает 1000 мг/л , т. е. 1 г на 1000 г воды и, следовательно, их концентрация выражается величиной не более $0,1\%$.

На отечественных водоподготовительных установках в случаях обработки воды только методом осаждения осуществляют нагревание воды до температуры, близкой к точке кипения, т. е. примерно до $80-90^\circ\text{C}$ и выше. Однако в энергетике обработку воды осуществляют обычно по комбинированным схемам, в которых метод осаждения сочетается с последующим пропусканием обрабатываемой воды через ионообменные материалы (о чем речь будет идти далее), термостойкость которых ограничивает подогрев воды до температуры не более 40°C .

Освоение отечественных термостойких ионообменных материалов позволит повысить температуру обрабатываемой воды на комбинированных водоподготовительных установках и тем самым интенсифицировать обработку воды методом осаждения. За рубежом в настоящее время получили распространение комбинированные водоподготовительные установки с напорными осветителями, в которых температуру воды доводят до $120-150^\circ\text{C}$, пропуская ее затем через специальные термостойкие ионитовые материалы.

Влияние температуры на процесс коагуляции воды в основном аналогично изложенному выше лишь до известных пределов. При дальнейшем повышении температуры эффект удаления из воды коллоидных взвешенных веществ начинает ухудшаться вследствие более быстрого броуновского движения этих веществ и торможения сорбции их хлопьями коагулянта. Оптимальная температура коагулируемой воды на водоподготовительных установках электростанций колеблется в пределах $20-40^\circ\text{C}$.

Нагревание воды на водоподготовительных установках, не применяющих коагуляцию и методы осаждения, необходимо с целью предохранения аппаратуры от за-

потребования в зимнее время, для чего предусматривают повышение температуры сырой воды до 10—15° С.

Для перемешивания реагентов с обрабатываемой водой на современных водоподготовительных установках электростанций обычно не предусматривают специальных аппаратов, а осуществляют это перемешивание в отстойниках и осветлителях, назначение и устройство которых рассматриваются в следующем параграфе этой главы.

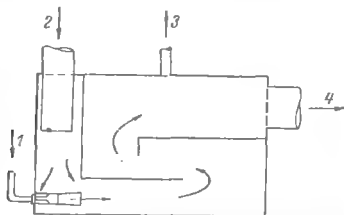


Рис. 5-11. Схема безнапорного подогревателя смешивающего типа.

1—грелый пар; 2—холодная вода; 3—отвод воздуха и испарений; 4—нагретая вода; 5—пароструйный водонагреватель.

Для нагревания воды на отечественных водоподготовительных установках применяют два типа подогревателей: безнапорные и напорные.

Безнапорные подогреватели применяют на установках открытого типа, схемы которых показаны на рис. 4-2 и 5-1. В этих случаях основной поток сырой воды из распределителя, исключая некоторую незначительную ее часть, предназначенную для работы дозаторов, поступает самотеком в подогреватель, откуда после смешения с паром нагретая вода также самотеком направляется в отстойник. Схема конструкции такого подогревателя, называемого обычно подогревателем смешивающего типа, изображена на рис. 5-11. Устройство и действие подогревателя достаточно ясно из представленной схемы и не требует дополнительных пояснений. Емкость подогревателя и чи-

сло соплел определяется в зависимости от производительности водоподготовительной установки.

Основным недостатком безнапорных подогревателей является незначительная скорость движения в них нагреваемой воды, в результате чего такие аппараты требуют относительно большой емкости, что ограничивает их применение водоподготовительными установками открытого типа небольшой производительности. Поэтому на современных водоподготовительных установках большой производительности применяют преимущественно напорные пароводяные подогреватели трубчатого типа, позволяющие нагревать боль-

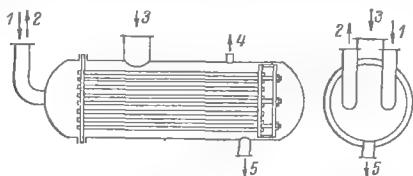


Рис. 5-12. Схема напорного пароводяного подогревателя.
1 — холодная вода; 2 — нагретая вода; 3 — пар; 4 — отвод воздуха;
5 — конденсат.

шие количества обрабатываемой воды в небольших по размерам аппаратах. В установках открытого типа с отстойниками нагревание сырой воды в напорных подогревателях осуществляется до подачи ее на распределитель воды. Конструкция таких подогревателей схематично представлена на рис. 5-12. Вода проходит по трубкам, пар — в межтрубном пространстве. Переднее сферическое доннышко подогревателя имеет внутри вертикальную перегородку, благодаря которой поступающая в подогреватель вода направляется сначала в правую (по фронту подогревателя) половину трубчатой системы, пройдя которую вода через заднее доннышко поворачивает назад, проходит левую половину трубчатой системы и через левую половину переднего доннышка покидает подогреватель. Поэтому такой подогреватель называют двухходовым. Эта конструкция подогревателя обеспечивает хорошую передачу тепла от пара через стенки труб к нагреваемой воде.

3-3. УДАЛЕНИЕ ОБРАЗОВАВШИХСЯ В ВОДЕ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ

Как указывалось выше, сущность обработки воды методом осаждения сводится к выделению из нее малорастворимых соединений, образующихся в результате взаимодействия дозируемых растворов реагентов с обрабатываемой водой. Этот процесс выделения из воды растворенных в ней веществ является обратным процессу растворения, который был рассмотрен выше, в гл. I. При растворении с поверхности кристаллов находящейся в воде соли отрываются под воздействием движущихся молекул воды отдельные молекулы соли и начинают таким образом свое самостоятельное существование в растворе, распадаясь затем на электрически заряженные составные части — ионы. При кристаллизации процесс идет в обратном направлении и начинается с взаимодействия присутствующих в обрабатываемой воде ионов с ионами дозируемого реагента.

Переход вещества из растворенного состояния в твердое происходит не сразу, а проходит несколько стадий, из которых первой, протекающей весьма быстро, является химическое взаимодействие при столкновении ионов, образующих данное малорастворимое соединение. Далее протекают относительно медленные процессы перехода образовавшихся молекул малорастворимого соединения в твердое состояние. Этот переход начинается с того, что некоторая часть этих молекул начинает объединяться в очень небольшие, даже невидимые под микроскопом группы, в которых, однако, молекулы располагаются в определенном порядке, что придает этим группам какую-то закономерную форму построения. Такие объединения атомов и молекул носят названия кристаллов. Образующиеся первоначально объединения молекул настолько малы, что представляют собой скорее кристаллические зародыши или, как их называют, центры кристаллизации, которые затем начинают расти за счет последовательного отложения на них ряда новых слоев молекул.

Мы знаем, что молекулы и атомы имеют очень сложное строение. Однако для простоты рассуждений о расположении атомов в кристаллах мы можем представить их в виде шаров. При этом действующие между ними силы притяжения будут сжимать их все более и более тесно. Рентгеновские исследования

структуры кристаллов. Интересно отметить, что кристаллы строятся по принципу наиболее плотной упаковки шаров. Представление о такой наиболее плотной упаковке дает расположение бильiardных шаров, собранных «треугольником» (рис. 5-13). Существуют простые кристаллы, состоящие из какого-либо одного атома, например углерода (алмаз). Кристаллы ионной соли состоят из ионов натрия и хлора. Существуют более сложные кристаллы, образованные из многоатомных молекул. Структуру кристалла изображают обычно в виде так называемой кристаллической пространственной решетки, в углах которой размещаются составные части кристалла (молекулы, атомы, ионы). Расстояния между углами

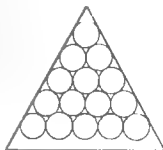


Рис. 5-13. Плотное расположение бильiardных шаров.

колеблются от 2—3 Å у простейших кристаллов до нескольких сот ангстремов у сложных кристаллов белка. Правильная повторяющаяся структура кристаллов является их отличительной особенностью, благодаря которой они ограничены плоскими гранями, пересекающимися под определенными углами по прямым ребрам. Поэтому кристалл стремится разламываться так, чтобы сохранить расположение его граней под определенным углом. Некоторое представление об этом свойстве кристаллов может дать рис. 5-14, где разделение на две части правильной структуры шаров проще всего сделать вдоль линий 1—1, 2—2 или 3—3.

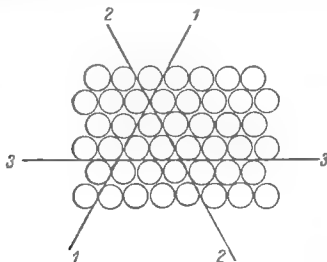


Рис. 5-14. Возможное разделение правильной структуры шаров.

Процессы кристаллизации в зависимости от ряда условий могут протекать с различной скоростью. Помимо концентрации и температуры реагирующих веществ, ускорению этого процесса способствует быстрое

и тщательное их смешение, а также использование в качестве контактной среды ранее выпавших твердых частиц, которые благодаря большой поверхности способствуют более быстрому росту кристаллов и их дальнейшему укрупнению, что облегчает процесс отстаивания.

На установках, осуществляющих обработку воды методом осаждения, после нагревания сырой воды и приготовления растворов реагентов все остальные процессы, а именно: присадка в обрабатываемую воду и смешение с ней определенной дозы реагентов, химическое взаимодействие воды с этими реагентами, выделение из воды малорастворимых соединений, кристаллизация этих соединений, укрупнение образовавшихся кристаллов и, наконец, их отстаивание, происходят в аппарате, носящем не совсем правильное название — отстойник, поскольку, как это видно из перечисленных выше процессов, этот аппарат, помимо отстаивания выпавших осадков, выполняет также функции смесителя, реактора и кристаллизатора. Применявшиеся первоначально конструкции вертикальных отстойников были относительно просты и сводились примерно к схеме этого аппарата, изображенной на рис. 4-1. В дальнейшем эта конструкция постепенно подвергалась ряду изменений, имевших целью улучшить работу отстойника с учетом перечисленных выше факторов, способствующих ускорению совершаемых в нем процессов. Такие усовершенствованные отстойники получили название осветлителей¹, получившего распространение на водоподготовительных установках электростанций для совместного осуществления коагуляции, известкования и магнетального обескремнивания воды, представлена на рис. 5-15.

Сырая вода 1 пропускается последовательно через два воздухоотделителя 2, в которых при резком изменении направления воды и незначительной скорости потока обеспечивается удаление из воды воздуха, что необходимо для предотвращения взмучивания и выноса шлама из осветлителя. После воздухоотделителей сырая вода направляется в нижнюю коническую часть

¹ Предложено Е. Ф. Курасовым.

осветлителя, куда она подается через сопла 18 по касательному направлению к окружности конуса (тангенциально), что придает потоку воды вращательное движение. В эту же часть осветлителя по трубопроводам 19

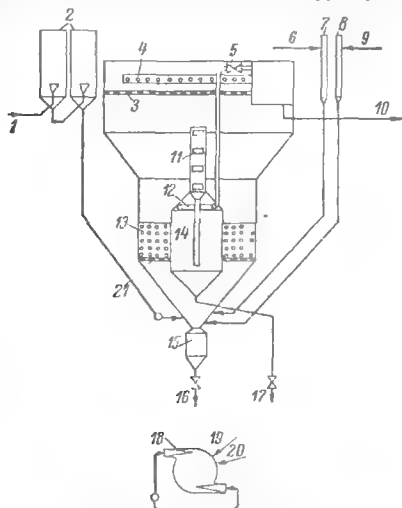


Рис. 5-15. Схема осветлителя.

1—сырая вода; 2—воздухоотделители воды; 3—решетка; 4—сборный желоб; 5—регулирующая задвижка возврата воды из шламooтделителя; 6—подвод раствора коагулянта; 7—воздухоотделитель раствора коагулянта; 8—воздухоотделитель известкового и магнезитового молока; 9—подвод известкового и магнезитового молока; 10—обработанная вода; 11—плавающие сква; 12—коллектор осветленной воды; 14—шламоотделитель; 15—грязесек; 16—периферическая продувка грязефика; 17—непрерывная продувка шламooтделителя; 18—сопло для ввода сырой воды; 19—ввод раствора коагулянта; 20—ввод известкового и магнезитового молока; 21—решетка.

и 20 подаются раствор коагулянта, известковое и магнезитовое молоко, которые так же, как и сырая вода, пропускаются предварительно через соответствующие воздухоотделители 7, 8.

Вирсвое движение (рис. 6) вводимой воды в нижнюю часть осветителя и значительные крошечные движения воды и поступающих сюда реагентов создают оптимальные условия для быстрого и тщательного перемешивания. Эта часть осветителя выполняет, таким образом, функции смесителя и реактора.

Далее обрабатываемая вода поднимается в верхнюю часть осветителя, предварительно пройдя через горизонтальную решетку 21 для равномерного распределения потока воды по поперечному сечению осветителя и вертикальные дырчатые перегородки 13 для гашения вращательного движения потока. Скорость подъема воды в этой части осветителя принимается с таким расчетом, чтобы избежать накопление в ней образующегося шлама, препятствуя его осаждению в коническую часть осветителя. Здесь создается, таким образом, когитационная среда, представляющая собой как бы вешенный фильтр шлама, через который проходит обрабатываемая вода, что обеспечивает полное прикосновение воды с частицами образовавшихся малорастворимых соединений и укрупняет тем самым процесс кристаллизации выпадающих осадков. Во избежание чрезмерного заполнения осветителя шлом, а также для его удаления за счет поступающих снизу свежих порций конической среды в центральной части осветителя расположен так называемый шламоотделитель 14, в который через окна 11 поступает часть воды со шломом. Оседающий в конической части шламоотделителя шлам не сразу выходит из осветителя, а собирается в конической части шламоотделителя 14, а затем собирается коллектором 12 и направляется в общий поток осветленной воды при помощи регулировочной вилки 5. Средняя часть осветителя выполняет в основном функции кристаллизатора и осветителя.

Пройдя через шламовый фильтр, вода поступает в верхнюю часть осветителя, где его диаметр увеличивается и соответственно уменьшается скорость подъема воды, что создает благоприятные условия для отстаивания и задержанных шламовым фильтром взвешенных частиц.

Для равномерного сбора осветленной воды по всему поперечному сечению осветителя предусмотрена верхняя решетка 3 и сорбитель 4. Крупные частицы

нерастворившегося магнезита и извести собираются в грязевике 15, откуда периодически удаляются по трубопроводу 16.

Работа осветлителя с контактной средой в виде взвешенного шламового фильтра делает его особенно чувствительным к колебаниям температуры обрабатываемой воды. Опыт эксплуатации таких осветлителей показывает, что удовлетворительные результаты обработки воды осветлители дают при условии колебаний температуры не более $\pm 1^\circ$. Необходимо также избегать быстрых и значительных изменений производительности установки. Нарушение этих условий приводит к выносу части взвешенного шлама с обработанной водой.

Несмотря на то, что в конструкции осветлителя учтены все рассмотренные выше факторы, способствующие ускорению процессов химического взаимодействия реагирующих веществ, а также кристаллизации и укрупнению выпадающих осадков, этот аппарат является все же громоздким и требующим большого расхода металла на его изготовление. Так, например, осветлитель производительностью 230 т/ч имеет общую высоту около 16 м и вес металла около 50 т.

Осветлитель при нормальной его эксплуатации может выдавать воду с удовлетворительной прозрачностью. Однако достаточно незначительного отклонения одного из многочисленных факторов, обуславливающих нормальный режим его работы, чтобы качество осветления воды заметно ухудшилось. Поэтому для более надежного и глубокого освобождения воды от взвешенных веществ ее пропускают обычно после осветлителя через механические фильтры, рассмотрению которых посвящается следующая глава.

5-6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ УСТАНОВОК ПО ОБРАБОТКЕ ВОДЫ МЕТОДАМИ ОСАЖДЕНИЯ¹

При эксплуатации установок, применяющих методы осаждения, необходимо стремиться к получению обработанной воды с минимальной жесткостью, щелочностью, окисляемостью, содержанием кремниеслоты

¹ Учитывая наличие ведомственных руководящих указаний и инструкций, подробно излагающих условия эксплуатации водоподготовительных установок, в этом параграфе автор ограничивается лишь основными указаниями и пояснениями.

и взвешенных веществ, при этом обработанная вода должна быть по возможности стабильной, т. е. в ней почти не должны продолжаться начатые в осветлителе процессы кристаллизации и выпадения осадков, что неизбежно вызовет образование отложений в трубопроводах и оборудовании по пути дальнейшего движения воды. В то же время все эти требования к качеству обработанной воды необходимо обеспечивать при наименьшем расходе реагентов и воды на собственные нужды установки. Отсюда вытекают те основные условия, которые необходимо выполнять для обеспечения нормальной работы таких установок. Это, во-первых, правильная работа дозирующих устройств и, во-вторых, оптимальный режим работы осветлителя.

Отклонения в работе дозирующих устройств могут с одной стороны привести к ухудшению качества обработанной воды, а с другой — к перерасходу дозируемых реагентов и, следовательно, к повышению себестоимости обработанной воды.

Оптимальный режим работы осветлителя требует прежде всего поддерживать постоянство температуры обрабатываемой воды с отклонениями не более $\pm 1^\circ \text{C}$ и избегать резких изменений производительности установки. Нарушения этих требований приводят к ухудшению прозрачности обработанной воды, а при резком снижении расхода воды — к заосу шламом внутренних элементов осветлителя (решетки, сетки и др.). Недостаточный подогрев воды и нарушение правильного шламowego режима осветлителя могут ухудшить стабильность обработанной воды.

Надежное обеспечение постоянства температуры обрабатываемой воды и устранение резких колебаний производительности установки достигается выпускаемыми в настоящее время отечественной промышленностью автоматическими регуляторами. Для обеспечения нормальной работы дозирующих устройств и осветлителей, помимо оперативного контроля за качеством обрабатываемой воды, требуется проверка их состояния путем периодических (1—2 раза в год) ревизий и планово-предупредительных ремонтов, при которых устраняются обнаруженные недостатки, повреждения отдельных деталей оборудования, очистка их от отложений, ремонт арматуры и пр.

МЕХАНИЧЕСКОЕ ФИЛЬТРОВАНИЕ ВОДЫ

6-1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Одной из наиболее широко применяемых операций в водоподготовительных установках является механическое фильтрование воды, имеющее целью удаление держащихся в ней взвешенных веществ, при этом ил считается в виду как взвесь, попадающая в природные воды, в процессе их кругооборота в природе, так и нерастворимые твердые вещества, образующиеся при обработке воды методом осаждения, рассмотренным выше, в гл. 5.

Термин «механическое фильтрование» не совсем полно отображает сущность этой операции, поскольку ей могут сопутствовать различные физико-химические процессы, в частности, сорбция при наличии развитой поверхности фильтрующей среды. Однако в основном она сводится все же к чисто механическому задержанию присутствующей в обрабатываемой воде взвеси. Такой термин удобно отличает этот процесс от ионообменного фильтрования воды.

Механическое фильтрование воды осуществляют путем пропускания ее через какое-либо пористое вещество, называемое фильтрующим материалом, который загружают в резервуары, называемые механическими фильтрами. Поступающая на такой фильтр под некоторым напором мутная вода просачивается через поры фильтрующего материала, а содержащиеся в воде взвешенные вещества задерживаются на поверхности и в порах фильтрующего материала.

При движении воды сквозь поры фильтрующего материала отдельные струйки ее совершают различный зигзагообразный путь через лабиринты пористой среды. При этом вода преодолевает сопротивление этому движению, возникающее в результате трения воды о поверхность зерен фильтрующего материала и характеризующееся так называемой величиной потери напора. Поэтому поступающая на фильтр вода подается под определенным давлением, величина которого должна превышать потерю напора в фильтре.

Потеря напора воды в фильтре является основным показателем механического фильтрования воды. Эта

... зависит от следующих четырех факторов:

1) Размер зерен фильтрующего материала. Чем меньше размеры зерен, тем теснее будут поры в фильтрующем материале и тем извилистее и длиннее будет путь, необходимый для отдельных струй воды, а следовательно, тем больше будет величина потерь напора. Кроме того, величина сопротивления фильтра связана также с формой частиц материала и неоднородностью их размера.

2) Высота слоя фильтрующего материала. Очевидно, что с увеличением высоты слоя фильтрующего материала длиннее становится проходимый водой путь (соответственно) растут величина потерь напора.

3) Скорость фильтрования. При увеличении скорости фильтрации будут возрастать и силы трения, действующие со стороны и в пористых зернах фильтрующего материала на прилегающую к ней воду, поэтому с увеличением скорости фильтрации величина потерь напора в фильтре также увеличивается.

4) Степень засорения фильтрующего материала. По мере того как в слой фильтрующего материала попадают и задерживаются на его поверхности более крупные частицы, в пористых зернах, в порках, в трещинах и в отдельных струях воды, во-вторых, увеличение скорости их движения по поркам фильтрующего материала. Оба эти фактора будут вызывать рост потерь напора в фильтре.

Из перечисленных четырех факторов первые три — характеристика, высота слоя и скорость фильтрующего материала и скорость фильтрования являются для каждой конкретной водоподготовки установкой заданными, более или менее постоянными и поэтому, выбирая этими факторами величина потерь напора падает в фильтре будет определенной и постоянной. Что же касается четвертого фактора — степени засорения фильтрующего материала, то он является в значительной степени переменной. Степень засорения фильтрующего материала непрерывно возрастает по мере работы фильтра и соответственно вызывает рост величины потерь напора.

Таким образом, величина потерь напора воды в фильтре складывается из двух частей: 1) постоянной,

определяемой фильтрующей средой и скоростью фильтрации и называемой начальной потерей напора, т. е. когда фильтрующая среда является еще чистой, и 2) переменной, определяемой характером и количеством взвешенных веществ в поступающей на фильтр воде.

Увеличение потерь напора воды в фильтре допустимо до некоторой конечной максимальной величины, определяемой для каждой водоподготовительной установки в зависимости от давления поступающей на фильтр воды, так как чрезмерное загрязнение фильтрующей среды может настолько увеличить ее сопротивление проходу воды, что распознаваемый напор воды будет недостаточен для обеспечения заданной скорости фильтрации. Последняя начнет снижаться вплоть до полного прекращения процесса фильтрации.¹

Когда величина потерь напора достигает конечной, максимально-допустимой в данных условиях величины, фильтрование воды прекращают и приступают к удалению задержанных фильтрующим материалом взвешенных веществ, что осуществляют путем промывки фильтра обратным током воды снизу вверх, в результате которой фильтрующий материал приходит во взвешенное состояние, и вследствие взаимного трения отдельных зерен и обмывания их водой последние выносятся из фильтра задерживаемую им взвесь. После этого фильтр может быть вновь включен в работу.

Продолжительность работы фильтра между промывками определяется скоростью прироста потери напора. Величина потери напора измеряется обычно метрами или миллиметрами водяного столба и обозначается соответственно: *м вод. ст.* и *мм вод. ст.*

Необходимо стремиться к тому, чтобы продолжительность рабочего цикла фильтра между промывками была максимальной, так как это приводит к уменьшению общего расхода воды на промывку фильтрующего материала и, следовательно, к снижению стоимости осветления воды. Продолжительность рабочего цикла фильтра: в конечном итоге, будет тем больше, чем

¹ Это изображение справедливо лишь для открытых, безнапорных фильтров. Для напорных фильтров максимальная величина потери напора определяется оптимальными условиями промываемого фильтрующего материала.

больше при прочих равных условиях он способен задерживать взвешенные вещества. Эту способность называют грязеемкостью фильтра.

Грязеемкость фильтра выражают количеством задержанных в течение рабочего цикла фильтра взвешенных веществ в килограммах, отнесенным к 1 м^3 загруженного фильтрующего материала ($\text{кг}/\text{м}^3$) или на 1 м^2 площади фильтрующей, т. е. площади поперечного сечения фильтра ($\text{кг}/\text{м}^2$).

При осуществлении взрыхляющей промывки фильтрующего материала наиболее мелкие частицы его располагаются преимущественно в верхней части, а наиболее крупные — в нижней части загрузки фильтра. Происходит как бы естественная гидравлическая сортировка фильтрующего материала, в результате которой размеры зерен материала постепенно уменьшаются в направлении от низа кверху загрузки фильтра. Таким образом, при последующем обычном фильтровании мутной воды сверху вниз последняя встречает на своем пути прежде всего самые мелкие зерна материала и в результате этого значительная часть содержащихся в воде относительно крупных взвешенных веществ задерживается на поверхности этого тонкого слоя мелочи; при этом образуется грязевая пленка с более мелкими порами, чем находящийся под ней фильтрующий материал, что придает ей свойство задерживать относительно мелко раздробленные взвешенные вещества. После образования такой пленки основная масса присутствующей в воде взвеси задерживается ею и лишь незначительная часть — в порах фильтрующего материала. Поэтому эта пленка получила название фильтрующей пленки, а организованный таким образом процесс осветления воды — пленочным фильтрованием. Как видно из описания такого пленочного фильтрования, значительная часть фильтрующего материала остается неиспользованной для целей осветления воды и является своего рода основанием для поддержания фильтрующей пленки, что приводит к снижению грязеемкости фильтра и, следовательно, к снижению продолжительности его рабочего цикла. В целях повышения грязеемкости механических фильтров были предложены и получили промышленное применение схемы проведения процесса механического фильтрования воды, при которых принимает участие

в задерживании взвешенных веществ не только верхний тонкий слой фильтрующего материала, но также значительная часть или даже вся толща загрузки фильтра. Это так называемые двухпоточное фильтрование и двухслойное фильтрование, которые рассматриваются ниже, при описании конструкций механических фильтров (см. 6-4).

6-2. ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Из рассмотренных выше назначения и условий проведения механического фильтрования воды вытекают и технические требования, предъявляемые к фильтрующим материалам. Эти требования могут быть сведены к следующим двум основным показателям: зернистость фильтрующего материала и его прочность.

Зернистость фильтрующего материала. Фильтрующий материал должен обеспечивать оптимальные условия как для фильтрования через него воды, так и для его промывки, что зависит прежде всего от размеров частиц материала, а также однородности размеров этих частиц: чем мельче зерна фильтрующего материала, тем меньше размеры пор в нем и, следовательно, тем лучше будет осветляться вода. С другой стороны, чрезмерно крупный фильтрующий материал, помимо того, что может оказаться неспособным достаточно полно задерживать присутствующую в воде взвесь, может потребовать для его расширения повышенную интенсивность промывки и расход воды на нее.

Неоднородность размеров частиц фильтрующего материала приводит к увеличению потери напора, так как мелкие зерна частично могут располагаться между крупными и тем самым уменьшать размеры пор. При промывке фильтра значительная часть наиболее мелких зерен будет располагаться в верхних слоях загрузки, способствуя затем быстрому образованию плотной пленки, увеличению скорости роста потери напора и сокращению длительности рабочего цикла фильтра между промывками. Кроме того, недостаточная однородность фильтрующего материала затрудняет осуществление удовлетворительной промывки, так как не позволяет привести во взвешенное состояние весь фильтрующий материал из-за опасности выноса мелких

серия тридцаточной интенсивности и промывки. При снижении интенсивности промывки капли воды могут быть неудовлетворительными. По мере оседания привады к постепенному загрязнению части зерука фильтра, вплоть до полной его цементации, что связано с необходимостью перезагрузки (ревизии) фильтра.

Таким образом, характеристика фильтрующего материала по крупности и однородности его частиц имеет существенное значение для нормальнй работы механических фильтров.

Какими же количественными окладами определяется зернистость фильтрующих материалов? Для этого выполняют так называемый ситовый анализ фильтрующего материала путем просева его через ряд калиброванных сит. На основании ситового анализа определяют: средний диаметр зерен материала d , количество пылевидных частиц, к которым относят частицы менее 0,25 мм, т. е. проходящие через сито с диаметром 0,25 мм; коэффициент неоднородности фильтрующего материала.

Коэффициент неоднородности фильтра $K_{\text{фн}}$ определяется по формуле: $K_{\text{фн}} = \frac{d_{80}}{d_{20}}$, где d_{80} — диаметр, при котором 80% материала проходит через сито, а d_{20} — диаметр, при котором 20% материала проходит через сито.

На основании специальных исследований и многолетнего опыта эксплуатации промышленных механических фильтров рекомендуются следующие характеристики крупности и однородности фильтрующих материалов, необходимые для обеспечения нормальнй эксплуатации механических фильтров и получения удовлетворительного качества осветленной воды: средний диаметр зерен материала в пределах от 0,6 до 1,0 мм; количество пылевидных частиц в фильтрующем материале не должно превышать 1,0% по весу; коэффициент неоднородности рекомендуется иметь в возможности не более 2.

Нельзя не отметить, что на основании анализа характеристик фильтрующего материала можно сделать вывод, что для обеспечения нормальной работы фильтров необходимо использовать материал, который имеет средний диаметр зерен в пределах от 0,6 до 1,0 мм, коэффициент неоднородности не более 2, а количество пылевидных частиц не превышает 1,0% по весу.

и однородности зерен фильтра и может привести к большему износу при его эксплуатации. Например, материалы с зернистостью от 0,5 до 1, мм могут иметь самую разную характеристику по крупности и однородности зерен. В составе 90% зерен с размером 0,5—0,6 мм и 5% с размером зерен 0,7—1,0 мм, т. е. материал будет характеризоваться как мелкозернистый, что в себя влечет большую потерю давления и быструю засоримость фильтра. Следовательно может попасть материал, содержащий 3% зерен с размером 0,5—0,7 мм и 97% зерен с размером 0,8—1,0 мм. В этом случае материал будет крупнозернистым, что может не дать достаточно хорошего осветления воды.

Прочность фильтрующего материала. Различают механическую и химическую прочность фильтрующего материала. Под механической прочностью следует понимать сопротивление фильтрующего материала износу вследствие трения зерен друг о друга, а также растрескивания зерен при колебаниях температуры воды или из-за выщелачивания содой отдельных составляющих фильтрующего материала при его недостаточной химической прочности. В результате всего этого происходит изменение материала, т. е. появление в нем повышенного количества пылевидных и мелких зерен, о вредности которых уже говорилось.

Рискоует, тем не менее, тем, что истирание зерен фильтрующего материала происходит исключительно во время его промывки, когда частицы материала находятся во взвешенном состоянии и беспорядочном движении, что нельзя считать полностью справедливым. По-видимому, при промывке и пропуске некоторому истиранию материала, но преимущественно в самый первый момент начала промывки, когда тяжелый материал, находясь в состоянии покоя, начинает расширяться и переходить во взвешенное состояние, т. е. когда происходят перемещения тесно соприкасающихся зерен. При дальнейшем расширении загрузки (обычно на 40% и выше) вследствие под различными углами зерен материала ударяются ударам бильярдных шаров, причем если часть из этих ударов приводит к некоторому истиранию, то оно происходит при относительно незначительных усилиях. К тому же часть поверхности зерен покрыта прилипшей к ней грязью, что также в какой-то степени снижает эффект истирания зерен. Наибольшему истиранию материал подвергается, вероятно, в период рабочего цикла, особенно в начальный его период, когда под воздействием течения происходит на фильтр воды происходит основное слеживание материала.

Некоторое представление об общем явлении слеживания может дать рис. 6-1, на котором показаны два возможных расположения зерен фильтрующего материала, если допустить, что все они одинакового размера и имеют шарообразную форму. Непосредственно

После взрыхляющей промывки материал занимает наибольший объем (рис. 6-1, а). Затем происходит перемещение шаров к положению, показанному на рис. 6-1, б, т. е. слеживание материала, при котором шары стремятся занять наименьший объем; при этом происходит с большими усилиями трение тесно соприкасающихся зерен, к тому же имеющих чистую поверхность. Разумеется, применяемые фильтрующие материалы имеют неодинаковые размеры и весьма разны формы. Последнее обстоятельство способствует еще большему их истиранию при постоянном явлении слеживания.

В настоящее время отсутствуют достаточно удовлетворительные методы количественной характеристики механической прочности фильтрующих материалов. О прочности судят преимущественно по данным эксплуатации промышленных фильтров, определяя за не-

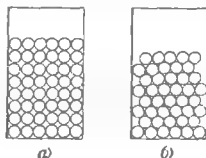


Рис. 6-1. Схема расположения шарообразных зерен фильтрующего материала.
а — после взрыхляющей промывки; б — при фильтровании сверху вниз

которые промежутки времени (3—6 мес и более) снижение высоты слоя загрузки фильтра, а также изменение его зернистости по данным ситового анализа, и выражая потерю материала так называемой величиной годового износа в процентах от первоначального веса загрузки. Для применяемых фильтрующих материалов эта величина колеблется в пределах 2—5% при условии нормальной эксплуатации, т. е. когда отсутствует вынос рабочих фракций фильтрующего материала вследствие недопустимо большой интенсивности промывки.

Под химической прочностью фильтрующего материала следует понимать его стойкость против воздействия на него фильтруемой воды как путем частичного растворения водой отдельных составляющих

дерей, так и химического взаимодействия их с водой, в результате чего может происходить ухудшение ее качества. Для определения химической прочности фильтрующих материалов пробы их подвергают в лабораторных условиях воздействию воды различного состава (нейтральной, щелочной, кислой) при заданной температуре и на основе химического анализа воды до и после опыта определяют происшедшие изменения в составе растворенных в ней веществ.

Помимо зернистости и прочности фильтрующих материалов, имеющих первостепенное значение для нормальной эксплуатации механических фильтров, при выборе этих материалов необходимо также принимать во внимание ряд факторов экономического характера. В частности, немаловажное значение имеет удельный вес материала, т. е. при одной и той же удовлетворительной зернистости материал с большим удельным весом потребует для его взрыхляющей промывки соответственно большей интенсивности, что повлечет увеличение расхода воды на промывки. При прочих равных условиях, разумеется, следует отдавать предпочтение более дешевому и доступному материалу.

В настоящее время наиболее употребительными фильтрующими материалами на электростанциях и промышленных предприятиях являются кварцевый песок (речной или получаемый путем дробления кварца) и дробленый антрацит¹. Последний имеет удельный вес (0,7—0,8), в 2 раза меньший, чем кварцевый песок (1,4—1,5), и поэтому позволяет осуществлять его промывку с меньшей интенсивностью. Механическая прочность кварца выше, чем антрацита. Но по химической прочности, особенно при высокой температуре и в щелочной среде, кварц уступает витрациту, повышая в фильтровальной воде содержание кремнекислоты (SiO_2), поэтому на электростанциях высокого и сверхвысокого давлений, где, как указывалось выше, необходимо стремиться к максимальному снижению содержания в питательной воде кремнекислоты, механические фильтры загружают преимущественно дробленным антрацитом.

¹ Относительно редко применяют дробленный мрамор и дробленый доломит, а также коксик и дробленый шлак.

6.3. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ И ИОНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ¹

а) Основные понятия

Эксплуатация всех фильтров, применяемых на водоподготовительных установках, как механических, так и ионообменных (которые будут рассмотрены в гл. 7) сводится к двум циклам: 1) рабочий цикл, когда фильтр выдает потребителю обработанную воду, и 2) цикл регенерации, в течение которого осуществляют операции, необходимые для восстановления рабочей способности фильтрующего материала. У механического фильтра рабочий цикл прекращается после использования в данных условиях его грязеемкости, после чего в цикле регенерации осуществляют взрыхляющую промывку материала и фильтру возвращают, таким образом, способность вновь осветлять мутную воду.

Конструкции всех фильтров, независимо от их назначения, имеют много одинаково выполняемых основных элементов, предназначенных для обеспечения нормального осуществления указанных двух циклов (рабочего и регенерационного). Поэтому представляется целесообразным познакомить читателя сначала с этими общими для всех фильтров (как механических, так и ионообменных) элементами с тем, чтобы затем при описании конструкций отдельных типов фильтров можно было бы ограничиваться указанием их отличительных и дополнительных деталей.

По своей конструкции фильтры разделяются на две основные группы, различающиеся способом создания напора поступающей на фильтры воды, необходимого для преодоления сопротивлений, возникающих при работе фильтра в его загрузке, а также в системе трубопроводов и арматуры, а именно: самотечные (открытые) фильтры и напорные (закрытые) фильтры.

В самотечных (открытых) фильтрах необходимый напор воды создается за счет разности

¹ В этом параграфе дано относительно подробное описание основных элементов фильтров, поскольку эти аппараты являются основным и преобладающим оборудованием современных водоподготовительных установок электростанций и промышленных предприятий, детальное знакомство с которыми является необходимым для эксплуатационного персонала.

отметок уровня воды в фильтре над загруженным в него материалом и оси конца трубы, отводящей осветленную воду из фильтра в сборный бак (рис. 6-2). Обычно эта разность отметок для открытых фильтров из конструктивных соображений не превышает 5 м, что является их основным недостатком, так как такой незначительный напор воды ограничивает в свою очередь скорость фильтрования, а следовательно, и производительность открытых фильтров. Средняя скорость фильтрования на открытых фильтрах обычно не превышает 5 м/ч.

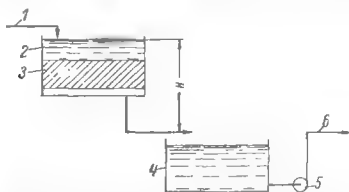


Рис. 6-2. Схема самотечного (открытого) фильтра.
1—обрабатываемая вода; 2—фильтр; 3—зернистая загрузка; 4—сборный бак обработанной воды; 5—насос; 6—к потребителю

К недостаткам открытых фильтров следует отнести также необходимость иметь промежуточный бак и насосы для подачи осветленной воды к потребителю или на последующую стадию обработки. Вместе с тем открытые фильтры при незначительном давлении воды на их стенки изготавливаются из бетона или железобетона и позволяют иметь единичные агрегаты с большой площадью фильтрования (до 100 м² и более). Поэтому открытые фильтры применяются преимущественно в системах городского водоснабжения для приготовления питьевой воды, где при огромных производительностях таких установок представляется возможным путем применения открытых фильтров с большой площадью фильтрования значительно уменьшить число устанавливаемых фильтровальных агрегатов. На электростанциях и промышленных предприятиях открытые фильтры применяются относительно редко.

Напорные фильтры (рис. 6-3) работают за счет давления воды, создаваемого насосом или напорным резервуаром¹, и выполняются в виде закрытых стальных вертикальных или горизонтальных цилиндрических резервуаров, рассчитанных на максимальный напор, создаваемый насосом, что позволяет увеличивать скорость фильтрования на этих фильтрах до 10—15 м/ч при механическом фильтровании и до 40—50 м/ч и выше при ионообменном фильтровании (см. гл. 7), а также обеспечивать необходимый напор обработанной воды

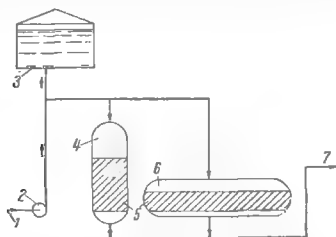


Рис. 6-3. Схема напорного (закрытого) фильтра.

1—обрабатываемая вода; 2—насос; 3—напорный резервуар; 4—фильтр вертикальный; 5—засыпная загрузка; 6—фильтр горизонтальный; 7—обработанная вода к потребителю.

после фильтров, устраняя надобность в промежуточном баке и насосах. Напорные фильтры получили преимущественное применение на водоподготовительных установках электростанций и промышленных предприятий.

На рис. 6-4 представлен схематический чертеж наиболее распространенного на водоподготовительных установках электростанций напорного вертикального фильтра, на котором изображены обязательные для всех типов фильтров три основных элемента, а именно: корпус фильтра, распределительные устройства и фронт

¹ В качестве напорного резервуара может служить сборный жёлоб осветлителя, находящийся обычно на отметке +12 м и выше по отношению к основанию фильтров

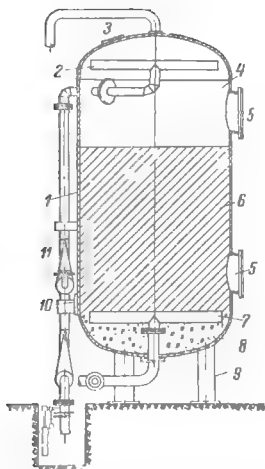


Рис. 6-1. Схема конструкции типизированного напорного фильтра.

1 — корпус фильтра; 2 — верхнее распределительное устройство; 3 — люк для осмотра; 4 — водяная подушка; 5 — люк; 6 — зернистая загрузка; 7 — нижнее распределительное устройство; 8 — бетон; 9 — опорные лапы; 10 — люк для гидронеперезки фильтра; 11 — фланг трубопроводов с арматурой и контрольно-измерительными приборами (подробно см. рис. 6-12).

трубопроводов с арматурой и контрольно-измерительными приборами. Ниже рассматриваются каждый из этих элементов в отдельности.

6) Корпус фильтра

Корпус вертикального фильтра представляет собой стальной сварной резервуар с приваренными к нему сферическими штампованными днищами. По условиям возможности перевозки фильтров в собранном виде по

железным дорогам максимальный диаметр изготавливаемых заводами напорных фильтров равен 3400 мм. Фильтры диаметром 1000 мм и менее изготавливают чаще с разъемным верхним днищем, на фланцах, а фильтры диаметром менее 500 мм — с плоскими сварными или разъемными днищами. Напорные фильтры рассчитывают обычно на рабочее давление 6—8 кг/см².

В верхней цилиндрической части корпуса фильтра расположен лаз, предназначенный для внутреннего осмотра фильтра, монтажа и ремонта распределительных устройств, а также иногда для загрузки фильтрующего материала. В фильтрах диаметром менее 1 м, имеющих верхнее разъемное днище, лаза обычно не предусматривают. У двухпоточных и двуслойных механических фильтров, а также у ионообменных фильтров, имеющих высоту корпуса 6 м и более, предусматривают второй лаз в нижней цилиндрической части корпуса, где такой лаз облегчает доступ к нижнему распределительному устройству, а также обеспечивает хорошую вентиляцию внутри фильтра и позволяет в случаях необходимости быстро эвакуировать из фильтра ремонтный персонал (см. гл. 7).

Кроме лаза, фильтр имеет два люка. Люк на верхнем днище используется для наблюдения за поверхностью фильтрующего материала, его промывкой, для взятия проб фильтрующего материала, а также иногда для загрузки фильтра. Люк на цилиндрической части корпуса фильтра на уровне нижнего распределительного устройства предназначается для осуществления гидравлической выгрузки фильтрующего или ионообменного материала (см. ниже).

К нижнему днищу фильтра привариваются лапы для установки его на фундамент. У фильтров малого диаметра (менее 1 м) такие лапы приваривают к верхней части корпуса фильтра для установки его на кронштейны у стены. Горизонтальные фильтры имеют специальные опорные конструкции.

На корпусе фильтра предусматривают штуцера, необходимые для присоединения к ним внутренних распределительных устройств и наружных трубопроводов.

Вертикальные фильтры больших диаметров имеют на верхнем днище скобы (или, как их называют,

«уши»), используемые для погрузки и разгрузки фильтра при его транспортировке и для установки его на фундамент.

в) Распределительные устройства

Распределительные устройства фильтров (вернее и ниже) являются основными и наиболее важными его элементами, от которых зависит нормальная работа фильтров. Распределительные устройства имеют двойное назначение:

1) Как указывает их название, они должны обеспечивать равномерное распределение по площади фильтрования проходящей через фильтр в течение его рабочего цикла обрабатываемой воды, а также потоков воды и реагентов, пропускаемых через фильтр в течение цикла его регенерации. В обоих случаях равномерность распределения потоков определяет степень использования загруженного материала, отчего зависит длительность рабочего цикла фильтра.

2) Распределительные устройства должны предотвращать унос зернистой загрузки в дренаж во время взрыхляющих промывок, а также предотвращать попадание фильтрующего материала в трубопровод обработанной воды в период рабочего цикла фильтра.

Задача равномерной работы распределительного устройства фильтра сводится к тому, чтобы количества воды, проходящие в единицу времени через различные точки площади фильтрования, были максимально близки друг к другу. Это достигается двумя принципиально различными путями. Первый путь заключается в создании высоких сопротивлений в проходных сечениях (отверстиях, шельмах, порах) распределительного устройства с тем, чтобы эти сопротивления значительно перекрывали бы по своей величине все прочие сопротивления проходу воды через остальные его элементы и тем самым уменьшали бы различие в общей сумме сопротивлений через различные точки площади фильтрования. Этот путь приводит к так называемым распределительным устройствам большого сопротивления. Второй путь сводится к обеспечению одинакового давления проходящей через фильтр воды при подходе ее к проходным сечениям распределительного устройства (или выходе из них) и одинаковых сопротивлений во всех точках этого устройства, что позволяет иметь равномерное распределение воды при любом сопротивлении в этих проходных сечениях и приводит к так называемым распределительным устройствам малого сопротивления.

Для обеспечения равного давления воды при подходе ее к проходным сечениям распределительного устройства (или выходе из

них) существуют условия (промежуточная пористая среда или воздушная подушка), при которых вода имеет возможность вблизи распределительного устройства двигаться как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях, тем самым компенсируя неравномерности в расходе сечений и т.д. Эти условия называются горизонтальной компенсацией. Они применяются также и в распределительных устройствах большого сопротивления.

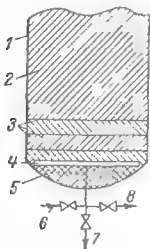


Рис. 6-5. Схема нижней распределительной системы с поддерживающими слоями.

1 — корпус фильтра; 2 — зернистая загрузка; 3 — поддерживающие слои; 4 — распределительная система; 5 — бетонная подушка; 6 — подвод промывной воды; 7 — спуск; 8 — выход отработавшей воды.

Нижнее распределительное устройство¹. Применяемые конструкции нижнего распределительного устройства фильтров можно разделить на две основные группы: распределительные устройства с поддерживающими слоями зернистого строения и устройства без таких слоев или, как их часто называют, — бесподстилочные распределительные устройства.

В распределительных устройствах с поддерживающими слоями (рис. 6-5) последние являются их составной частью и представляют собою ряд слоев зернистого материала (обычно гравий или антрацит) различной крупности, расположенных непосредственно на рас-

пределительном устройстве и отделяющих, таким образом, его от засыпаемой на них основной зернистой загрузки фильтра.

Крупность зерен в каждом из поддерживающих слоев увеличивается по направлению снизу вверх, приближаясь в самом верхнем слое к величине наиболее крупных зерен основной загрузки фильтра, при этом соотношение крупности зерен в двух соседних слоях должно препятствовать их смешению. Крупность зерен нижнего слоя выбирают в зависимости от размера проходных сечений распределительного устройства.

¹ Применяемое чаще наименование этого элемента фильтра как «дренажное устройство» является не совсем правильным, так как оно предназначается преимущественно для вывода из фильтра отработанной воды к потребителю и подвода к фильтру промывной воды, и только при опорожнении фильтра и спуске промывных вод является по существу дренажным устройством фильтра.

Толщина поддерживающих слоев колеблется в пределах от 100 до 200 мм, а общая высота — от 300 до 600 мм и выше, в зависимости от конструкции распределительной системы.

Поддерживающие слои в распределительных устройствах можно рассматривать как промежуточную пористую среду, способствующую выравниванию неравномерно выходящих струй воды из распределительной системы при выходящих промывках зернистой загрузки фильтра (горизонтальная компенсация). Во время рабочего цикла фильтра такой выравнивающей средой является вся его загрузка, что, однако, не устраняет дефектов распределительной системы, собирающей прошедшие через фильтр потоки воды.

Опыт эксплуатации фильтров с поддерживающими слоями выявил их основной недостаток — возможность смещения и перемешивания слоев, происходящих в результате резкого изменения по различным причинам расхода воды в отдельных местах поперечного сечения фильтра. При смещении и перемешивании поддерживающих слоев возникает возможность проникновения основной зернистой загрузки фильтра в трубопровод обработанной воды, а также проскока из фильтра воды ухудшенного качества. Это обстоятельство, а также стремление снизить высотные габариты фильтров и удельные расходы металла на их изготовление привели к отказу от распределительных устройств с поддерживающими слоями в напорных фильтрах и переходу на конструкции распределительных устройств, позволяющих загружать непосредственно на них зернистый материал фильтра.

Распределительные устройства с поддерживающими слоями применяют в настоящее время преимущественно в городском водоснабжении, где при больших площадях окантованных механических фильтров обеспечение равномерной промывки зернистой загрузки усложняется и выравнивающее значение поддерживающих слоев становится более заметным.

Бесподстиловые распределительные устройства, помимо своего основного назначения, должны надежно предотвращать проникновение частиц зернистой загрузки в трубопровод обработанной воды. Это достигается двумя путями: 1) размеры проходных сечений для воды в распределительном устройстве предусматривают меньше размеров частиц зернистой загрузки и 2) конструкция распределительного устройства предусматривает образование сводов зернистой

загрузки над его проходными сечениями, что препятствует проникновению загрузки фильтра через это устройство независимо от соотношения размеров проходных сечений устройства и частиц загрузки и позволяет иметь размеры этих сечений даже более самых крупных зерен материала. Первый путь в свою очередь приводит к двум типам распределительных устройств: а) пористые и б) щелевые. Все бесподстилочные распределительные устройства по своему конструктивному выполнению могут состоять из равномерно расположенных по площади фильтрования колпачков, труб или плит, причем колпачки могут сочетаться с трубами или с плитами, выполняемыми в виде «ложных» днищ фильтров.

Распределительные устройства, выполняемые в виде ложного днища (рис. 6-9, б), наилучшим образом обеспечивают равномерное распределение по площади фильтрования проходящих через фильтр потоков воды и растворов реагентов.

Объясняется это двумя обстоятельствами. Во-первых, вода подводится с примерн. одинаковым давлением ко всем точкам ложного днища, что достигается при фильтровании сверху вниз благодаря выравнивающему действию входящей над ложным днищем зернистой загрузки фильтра, а при подаче воды снизу вверх вследствие горизонтальной компенсации, осуществляемой водяной подушкой в межтрубном пространстве. Во-вторых, сопротивление испытываемое водой при прохождении через распределительное устройство, определяется только сопротивлением колпачка (периостог или щелевого) или щелей или пористой плитки и остается во всех его точках одинаковым. Это и в виде преимущества распределительных устройств в виде ложного днища влечет за собой немаловажное второе преимущество, позволяя доводить перераспределение в распределительных устройствах до минимальных величин, насколько это позволяют конструктивные соображения. Таким образом, ложные днища могут проектироваться как распределительные устройства малого сопротивления.

Недостатком такого выполнения распределительного устройства следует признать относительную его громоздкость и сложность технологии изготовления, особенно для фильтров большого диаметра и горизонтальных фильтров, а также для фильтров, работающих в агрессивной среде, когда эти затруднения усугубляются необходимостью противокислотной защиты внутренней поверхности корпуса фильтра, включая и межтрубное пространство. Поэтому распределительные

устройства в виде ложного дна получить у нас ограниченное распространение.

Пористые распределительные устройства в манорных фильтрах электростанций были впервые применены у нас М. И. Чиркиным, предложившим конструкцию пористого колпачка, изготовление которого было затем освоено на Московском абразивном заводе (рис. 6-6). Удачным следует признать опыт одной из электростанций, применившей для распределительного устройства пористые керамические плиты, изготавливаемые Кинешемским керамическим заводом.

Пористые колпачки в той или иной степени подвергаются постепенному разрушению в результате выщелачивания пористой массы колпачка проходящей через фильтр водой. Скорость протекания этого процесса, а следовательно, и срок службы пористого колпачка находится в зависимости от качества его изготовления, которое определяется надлежащим подбором фракций кварцевой крошки, режимом термической обработки пористой массы и др.

Пористые плиты, по-видимому, могут иметь применение преимущественно в качестве элементов нижнего распределительного устройства ионообменных фильтров, при этом необходимо освоение для таких плит пористого материала, химически стойкого как в кислой, так и в щелочной среде (например, пористые пластмассы). Для механических фильтров применение пористых плит вряд ли будет целесообразно из-за возможности засорения их присутствующими в воде взвешенными веществами и трудности последующей их промывки.

Вообще говоря, это обстоятельство не следует забывать и при использовании пористых плит в ионообменных фильтрах, поскольку засорение их может быть вызвано кристичными обрабатываемой водой окислами металлов и неизбежных продуктов коррозии оборудования и труб провадов. Этот процесс, вероятно, будет протекать весьма медленно, так как содержание окислов металлов в об-

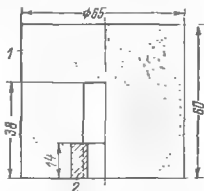


Рис. 6-6. Пористый колпачок Московского абразивного завода

1 — пористая масса; 2 — шестигранник для стяжной гайки.

рабатываемой воды не превышает 5-6 тысяч частиц на миллиграмм на литр, однако он может оказаться короче амортизационного срока службы фильтра и вызвать преждевременный его капитальный ремонт.

Пористые трубы могут оказаться предпочтительнее плит, поскольку они позволяют создавать распределительные устройства, более простые по конструк-

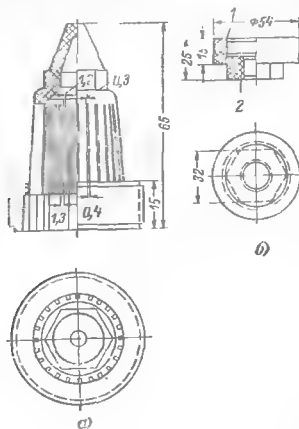


Рис. 6-7. Пластмассовый щелевой копячок ВТИ-К.

а — головка; б — переход.

1 — резьба для ввертывания головки копячка; 2 — резьба для навертывания копячка на штуцер распределительного устройства.

ции и удобные для ремонта. По-видимому, пористые трубы будут удобны при использовании их для распределительных устройств, располагаемых в толще зернистой загрузки (двухпоточные механические фильтры, противоточные ионитные фильтры), где такие устройства могут надежно предотвращать проникновение частиц загрузки в обрабатываемую воду.

Щелевые распределительные устройства колпачкового типа получили за последние годы преимущественное применение в ионообменных фильтрах в качестве бесподстилочного распределительного устройства, изготавливаемого машиностроительными заводами. При этом имеются два типа щелевых колпачков, выпускаемых отечественной промышленностью: 1) пластмассовый щелевой колпачок ВТИ-К (рис. 6-7) и 2) фарфоровый щелевой колпачок ВТИ-5 (рис. 6-8). Щелевые распределительные устройства колпачкового типа вы-

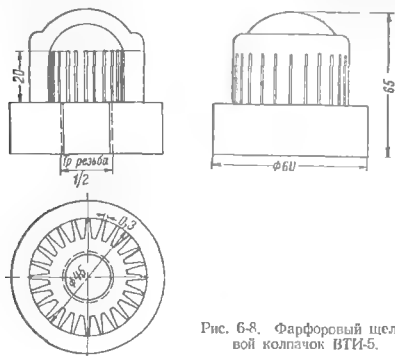


Рис. 6-8. Фарфоровый щелевой колпачок ВТИ-5.

полняются, так же как и устройства с пористыми колпачками, в виде трубчатой системы (рис. 6-9,а) или в виде системы с ложным дном (рис. 6-9,б).

Длительный промышленный опыт эксплуатации распределительных систем с колпачками как у нас, так и за рубежом привел к отрицательным результатам, показав недостаточную надежность как самих колпачков, так и узлов соединения их с элементами распределительных устройств (трубы или ложные днища).

Пластмассовые щелевые колпачки подвергаются быстрому разрушению при работе в механических фильтрах в результате эрозии их зернистой загрузкой (кварц, антрацит). В ионообменных фильтрах применение их

ограничивается температурой 35–40° С, выше которой начинается заметное уменьшение их механической прочности, в результате чего происходит деформация колпачка и изменение размеров его щелей.

Фарфоровые щелевые колпачки весьма чувствительны даже к самым незначительным отклонениям от нормальных условий их изготовления и в особенности термической обработки, влияющей на их хрупкость. Кроме того, труднообнаруживаемые волосные трещины, могущие образоваться при их транспортировке и установке на распределительном устройстве, приводят затем при работе фильтра к их разрушению.

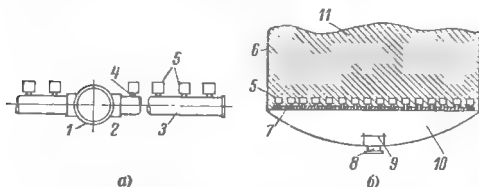


Рис. 6-9. Нижняя распределительная система.

а — трубчатая система; *б* — система с ложным днищем.
 1 — ко флектор; 2 — муфта; 3 — ответвление; 4 — штуцер с наружной резьбой 1/2";
 5 — колпачок (пористый или щелевой); 6 — корпус фильтра; 7 — ложное перфориро-
 ванное днище; 8 — штуцер для подвода и отвода воды; 9 — отбойный щит; 10 —
 междудонная водяная подушка; 11 — зернистая загрузка.

Все колпачки могут подвергаться той или иной поломке, иногда не сразу заметной, в процессе монтажа фильтра или при его ревизии и ремонте.

Крепление колпачков на распределительном устройстве осуществляется путем наворачивания их на стальные штуцерки, привариваемые к ответвлениям трубчатой системы или к ложному днищу. Коррозия резьбы штуцерков приводит к ослаблению их соединения с колпачками, в результате чего некоторые из них могут отрываться от штуцерков при взрывающихся промывках снизу вверх. Подвергаются также коррозии места приварки штуцерков, что приводит к отрыву последних вместе с навернутыми на них колпачками.

Если учесть, что на современных водоподготовительных установках средней производительностью порядка

200 300 т/ч общее количество колпачков в распределительных устройствах фильтров достигает 10 000 шт. и выше, то становится ясным, что появляется высокая степень вероятности разрушения или срыва некоторого числа колпачков по причине одного или нескольких перечисленных выше факторов, при этом следует иметь в виду, что разрушение или срыв даже одного колпачка может привести при последовательном пропускании обрабатываемой воды через ряд групп фильтров различного назначения к проникновению одного вида зернистого материала в другой фильтр, загрузенный материалом другой марки, и смешению этих материалов, что в свою очередь может вызвать необходимость к полной ревизии такого фильтра.

Щелевые металлические трубы и плиты требуют изготовления их из нержавеющей стали во избежание забивания щелей продуктами коррозии металла. Это является, пожалуй, единственным их недостатком, так как заставляет применять дорогостоящие и дефицитные марки стали. Во всех остальных отношениях щелевые трубы и плиты являются наиболее надежной и универсальной конструкцией распределительных устройств, которая к тому же наиболее удобна для заводского серийного изготовления.

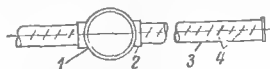


Рис. 6-10. Схема щелевого распределительного устройства трубчатого типа.
1 — коллектор; 2 — муфта; 3 — ответвление;
4 — щель.

В настоящее время освоено в заводских условиях изготовление щелевых бесколпачковых распределительных устройств из нержавеющей стали в виде трубчатой системы с нарезанием щелей 0,3—0,4 мм электроискровым способом (рис. 6-10).

Щелевые трубы из винипласта устраняют надобность в применении нержавеющей стали. Однако их механическая прочность стабильна лишь в определенном температурном интервале. При температуре -10°C и ниже они приобретают заметную хруп-

кость, что создает затруднения для их заводского производства и транспортировки. При температуре $+60^{\circ}\text{C}$ и выше они начинают размягчаться, что не позволяет применять их в фильтрах, принимающих воду или производственные конденсаторы с такой температурой, поэтому такие трубы могут найти применение только в конкретных, приспосабливаемых по температуре условиях и при изготовлении и монтаже непосредственно на монтажной площадке. Расширение области применения щелевых труб из пластмассы представится возможным после получения достаточно стойких термических пластмассовых материалов. В равной степени это будет относиться и к пластмассовым щетевым плитам.

Распределительные устройства, рассчитанные на образование сводов зернистого материала над проходными сечениями, не получили у нас пока промышленного применения в напорных фильтрах. Имеется ряд конструкций таких устройств, частично прошедших лабораторные испытания.

О таких устройствах можно пока высказать лишь некоторые предположительные соображения. Во-первых, образовавшиеся перед щелями таких устройств своды из зерен загруженного в фильтр материала могут изменить свою конфигурацию вследствие местных смещений зернистой загрузки в период рабочего цикла, при этом некоторая незначительная часть освободившихся зерен может уноситься с обрабатываемой водой. Во-вторых, это же явление, но в еще большей степени, будет иметь место непосредственно после каждой регенерации фильтра, когда происходит новое образование сводов, разрушенных в результате взрывающей промывки зернистой загрузки. В-третьих, изготовление и монтаж таких устройств вряд ли обеспечит достаточно строгую регулируемость их работы и козпакон, что будет увеличивать неравномерность распределения толы по поперечному сечению фильтра. Это послужит обстоятельством, а также возможное (пусть даже незначительное) проникновение зернистой загрузки в обработанную воду заставляет относиться с осторожностью к применению этого типа распределительных устройств в напорных фильтрах и, тем более, в химически агрессивных установках.

Верхнее распределительное устройство напорных фильтров находится в более благоприятных условиях, чем нижнее, поскольку его всегда отделяет от зернистой загрузки водяная подушка (рис. 6-4), создающая горизонтальную компенсацию и обеспечивающая тем самым выравнивание потоков воды по площади фильтрования. Что же касается уноса

зернистой загрузки с промывной водой, то в отличие от нижней распределительной системы, которая должна полностью предотвращать проникновение через нее частиц загруженного в фильтр материала, верхняя распределительная система должна свободно пропускать с промывной водой попадающие в фильтр в период рабочего цикла взвешенные вещества, а также мелкие частицы зернистой загрузки, являющиеся продуктом ее механического разрушения в процессе эксплуатации фильтра. Для предотвращения выноса с промывной водой рабочих фракций загрузки устанавливается предельно допустимая интенсивность взрыхляющей промывки, обеспечиваемая автоматическим ограничителем на спускном трубопроводе (см. ниже).

В ионообменных фильтрах верхнее распределительное устройство, помимо подачи в фильтр воды и отвода промывной воды, предназначается также для подачи в фильтр регенерационного раствора, причем в тех фильтрах, где секундные расходы этих потоков достаточно близки друг к другу, устанавливают одно верхнее распределительное устройство, выполняющее все указанные три операции, как это показано на рис. 6-4. Когда же эти расходы значительно отличаются друг от друга, целесообразно устанавливать два независимых верхних распределительных устройства, как это предусмотрено, например, для ионитных фильтров второй ступени, где секундный расход обрабатываемой воды может достигать $20 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$ и выше, а интенсивность пропуска регенерационного раствора не превышает обычно $3-4 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$.

На рис. 6-11 представлены схематически наиболее распространенные конструкции верхних распределительных устройств в напорных фильтрах.

Воронка (рис. 6-11,а) применяется обычно в механических фильтрах, а также в ионитных фильтрах для подачи обрабатываемой воды и отвода промывной воды. Использование воронки для подачи в фильтр регенерационного раствора, как показал опыт эксплуатации, является нецелесообразным, так как при небольшой выходной скорости раствора и большом удельном весе его по сравнению с водой он направляется преимущественно вниз от кромок воронки, образуя выемку в центре верхнего слоя ионита, не омывая при этом равномерно всю толщу загрузки фильтра.

Обойный щит (рис. 6-11,б) находит применение для подачи и отвода воды в ионитных фильтрах второй ступени, где такая конструкция позволяет удобно разместить специальную распределительную систему для подачи регенерационного раствора.

Остальные конструкции верхних распределительных устройств применяют преимущественно в ионообменных фильтрах, причем так называемую «люстру» применяют только для подачи регенерационного раствора, а «перфорированное кольцо» и «звезду» как для раздельных так и для объединенных распределительных устройств.

Иногда же распределительное устройство на обменных фильтрах имеет конструкцию, аналогичную нижним устройствам: трубчатую систему (коллектор и перфорированные ответвления) или толстое днище с колпачками. Последнее преимущественно для фильтров малых диаметров, менее 1 000 мм (см. гл. 7).

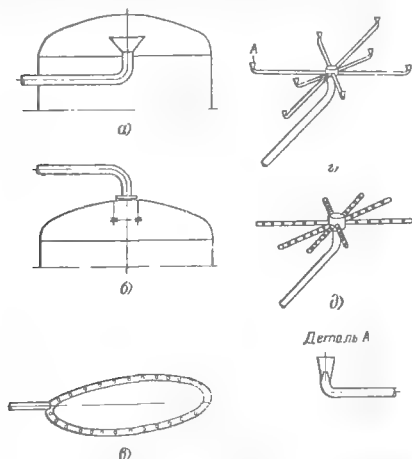


Рис. 6-11. Схемы верхних распределительных устройств в напорных фильтрах.

а — втулка; б — отбойный диск; в — кольцо; г — люфт; д — деталь А

Отсутствие данных о гидравлической характеристике различных конструкций верхних распределительных устройств напорных фильтров и влияния их на технологические показатели работы фильтров не позволяют дать достаточно обоснованную оценку этих конструкций. Можно лишь предполагать, что влияние их на работу фильтра при наличии водяной подушки вряд ли должно быть значительным, и поэтому при выборе той или иной конструкции должны преобладать соображения технологии их изготовления, прочности, применения недефицитных материалов и др.

г) Фронт фильтра

Фронт фильтра (рис. 6-12) включает в себя систему трубопроводов с арматурой и контрольно-измерительными приборами, необходимыми для нормального выполнения всех операций рабочего и регенерационного цикла фильтра, и состоит из следующих основных элементов:

а) Трубопровод 1, соединенный с верхним распределительным устройством фильтра при помощи штуцера, располагаемого обычно в верху цилиндрической части корпуса фильтра, а иногда в центре верхнего сферического днища. Этот трубопровод имеет две задвижки. Задвижка 3 на боювом отводе трубопровода предназначается для подвода в фильтр обрабатываемой воды, а также промывной воды у ионитных фильтров. Задвижка 4 предназначается для отвода воды из фильтра при взрыхляющей (снизу вверх) промывке зернистого материала. На свободном конце этого трубопровода размещается ограничитель интенсивности 5 (см. ниже). У ионит-

ных фильтров этот трубопровод имеет еще одну задвижку 2 на боковом отводе для подвода в фильтр регенерационного раствора, если фильтр имеет объединенное верхнее распределительное устройство, как это изображено на рис. 6-4. В противном случае нонитные фильтры имеют отдельный трубопровод с задвижкой, соединенной со специальным распределительным устройством для подвода регенерационного раствора.

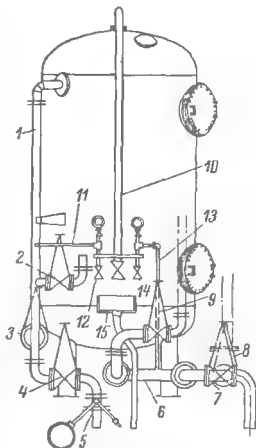


Рис. 6-12. Схема фронта типизированного напорного фильтра.

о) Трубопровод 6, соединенный с нижним распределительным устройством фильтра при помощи штуцера, располагаемого обычно в центре нижнего сферического днища, а иногда внизу цилиндрической части корпуса фильтра. Этот трубопровод имеет три отвода с задвижками. Задвижка 8 предназначается для отвода из фильтра обработанной воды. Задвижка 9 служит для подвода к фильтру воды при взрывающих промывках зернистой загрузки, а также при наличии промывного бака, для подачи в него осветленной воды после механического фильтра или части отработанного регенерационного раствора после ионитного фильтра. Задвижка 7 на свободном отводе служит для выхода промывной воды у ионитных фильтров и для спуска первого фильтрата у механических фильтров, а также для опорожнения фильтра.

в) Трубопровод 10 с вентилем служит для впуска и выпуска воздуха из фильтра соответственно при его наполнении и опорожнении. Этот трубопровод присоединяется обычно к фильтру при помощи штуцера, расположенного в центре верхнего сварного днища, а в тех случаях, когда к этому штуцеру подсоединен трубопровод 1, то к верхней точке последнего.

г) Трубопровод 11, соединенный с верхним, свободным от арматуры участком трубопровода 1, предназначается для измерения давления поступающей на фильтр воды при помощи установленного на нем манометра с трехходовым краном и для отбора проб обрабатываемой воды при помощи вентиля 12.

д) Трубопровод 13, соединенный с верхним, свободным от арматуры участком трубопровода 6, предназначается для измерения давления выходящей из фильтра воды при помощи установленного на нем манометра с трехходовым краном и для отбора проб обработанной воды при помощи вентиля 14.

е) Сборное корыто с трубой для отвода воды при взятии проб или наполнении фильтра.

ж) Ограничитель интенсивности взрывающей промывки, расположенный на свободном конце трубопровода 1. Выполняется в виде дроссельной шайбы (рис. 6-13,а) или дроссельно-подплавкового типа (рис. 6-13,б).

Последний является предпочтительнее шайбы, так как его работа не зависит от колебания давления выходящего из фильтра воды, и представляется возможным просто и быстро утанавливать регулятор на требуемую величину с помощью изменения длины плеча поплавка или угла наклона к вертикали дроссельной заслонки. Недостатком дроссельно-поплавкового ограничителя считают (преимущественно проектировщики) необходимость и предусматривать специальный приемок для его размещения и работы, хотя многие технологи признают полезным наличие такого приемка, поскольку он позволяет в случаях надобности наблюдать за ходом вымывающей промывки зернистой загрузки фильтров, а также отмывки и чистов после их регенерации.

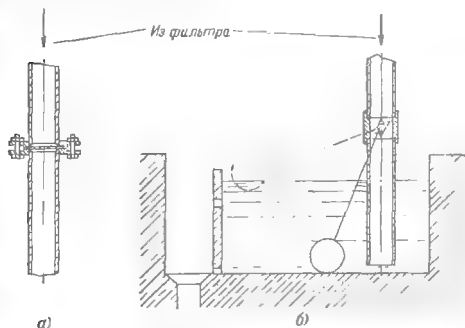


Рис. 6-13. Ограничители интенсивности взрыхляющей промывки фильтра.

а — дроссельная шайба; б — дроссельно-поплавковый ограничитель.

3) Расходомер, указывающий — для механических фильтров и суммирующий — для тонких фильтров. Располагается обычно непосредственно на корпусе фильтра. Измерительная диафрагма к расходомеру устанавливается на трубопроводе обработанной воды.

6-4. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

а) Открытый механический фильтр

На рис. 6-14 показана конструкция прямоугольного железобетонного фильтра, являющегося частью железобетонной ячейки, состоящей из отстойника, фильтра и

резервуара обработанной воды. Такие ячейки являлись в свое время (1935—1940 гг.) типовым решением для предварительной обработки воды (по схеме — коагуляция, известкование, осветление) в комбинированных катионитных водоподготовительных установках электростанций и промышленных предприятий.

Нижнее распределительное устройство этого фильтра представляет собой трубчатую систему из перфорированных труб с отверстиями, расположенными вниз под углом 45° к вертикали и тремя поддерживающими

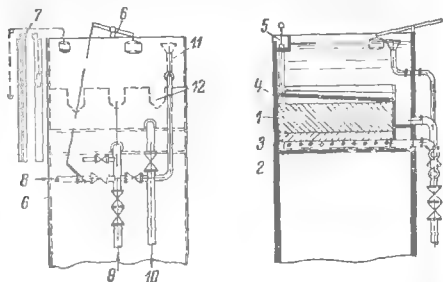


Рис. 6-14. Открытый железобетонный механический фильтр

1 — железобетонный корпус фильтра; 2 — нижнее распределительное устройство; 3 — подающая труба; 4 — засыпная загрузка; 5 — приемный карман для обрабатываемой воды с донным клапаном; 6 — дроссельно-поплаковый регулятор скорости фильтрации; 7 — узел уровня и потери напора в фильтре; 8 — выход обработанной воды; 9 — вход промывочной воды; 10 — отвод промывочной воды; 11 — перепад; 12 — соединительная труба.

слоями гравия над ней. Скорость фильтрования регулируется при помощи дроссельной заслонки на трубопроводе осветленной воды, механически связанной с поплавком 6. После промывки фильтра, когда потеря напора воды в слое загрузки минимальная, соответственно минимальный и уровень воды над ней (положение поплавка наименее), при этом дроссельная заслонка устанавливается в положение, максимально прикрывающее свободное сечение трубопровода, создавая дополнительное сопротивление, необходимое для поддержания заданной скорости фильтрования. По мере работы фильтра и роста потери напора в слое загрузки

уровень воды над ней в фильтре повышается, при этом шлавок, поднимаясь, постепенно поворачивает дросельную заслонку, увеличивая проходное сечение трубопровода, и тем самым поддерживает установленную в начале цикла скорость фильтрования. Верхнее распределительное устройство фильтра состоит из кармана δ , куда поступает обрабатываемая вода из отстойника, и трех желобов, предназначенных также для отвода промывной воды.

Опыт эксплуатации железобетонных ячеек показал недостаточную их прочность: через 3—4 года эксплуатации обычно появляются неплотности, течи, требующие частого ремонта. В настоящее время такие конструкции на водоподготовительных установках электростанций не применяют.

б) Напорный однопоточный механический фильтр

На рис. 6-15 дан разрез конструкции вертикального однопоточного механического фильтра, изготавливаемого нашими заводами шести типоразмеров диаметром от 1,0 до 3,4 м. Высота слоя зернистой загрузки 900 мм. Имеет дополнительное распределительное устройство для подвода сжатого воздуха, выполненное в виде трубчатой системы со щелевыми фарфоровыми колпачками. Фильтр снабжен вантузом для автоматического удаления воздуха, выделяющегося из обрабатываемой воды в течение рабочего цикла фильтра. Нижнее днище не бетонируется, а заполняется зернистой загрузкой фильтра, которая в этой своей части не выполняет никаких технологических функций. Общая высота фильтра колеблется в пределах 3,0—3,5 м, вес металла 1,0—5,0 т.

На рис. 6-16 показана новая конструкция однопоточного механического фильтра горизонтального типа диаметром 3,0 м, двух типоразмеров с длиной корпуса 5,5 и 10,0 м и площадью фильтрования соответственно 15 и 30 м². Фильтры предназначены для водоподготовительных установок большой производительности (800—1000 м³/ч и выше), где применение таких фильтров позволяет значительно уменьшить количество фильтровальных агрегатов. Верхнее распределительное устройство фильтра выполнено в виде двух продольно расположенных перфорированных труб с расположе-

нием отверстий вверх под углом к вертикали. Фильтр снабжен задвижками с гидроприводом и имеет щит с ручными распределительными кранами для управления гидрозадвижками. Вес металла фильтра длиной 5,5 м — 12 т, а длиной 10,0 м — 20 т.

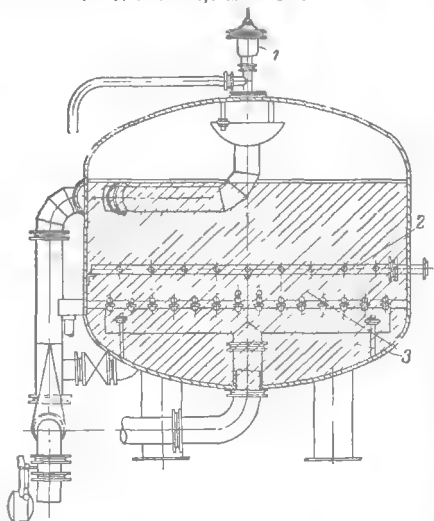


Рис. 6-15. Напорный вертикальный однопоточный механический фильтр.

1 — люк; 2 — распределительное устройство для подвода сжатого воздуха; 3 — зернистый материал.

в) Двухпоточный механический фильтр

Как указывает название этого фильтра, сущность его заключается в том, что подлежащая осветлению мутная вода подается одновременно двумя потоками через два распределительных устройства (рис. 6-17).

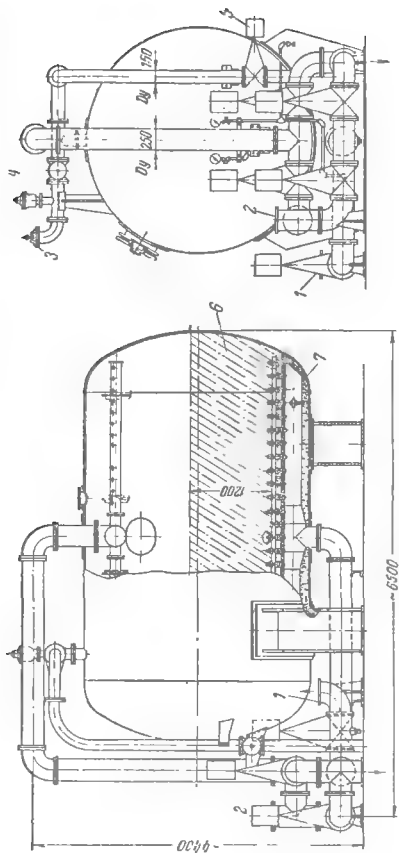


Рис. 6-16. Напорный горизонтальный однопоточный механический фильтр.

1 — выход обработанной воды; 2 — вход сбрабатываемой воды; 3 — вентиль; 4 — вакуум; 5 — гидродвигатель к задвижке; 6 — загрузка; 7 — бетон.

ра, расположенных в верхней и нижней частях фильтра, а осветленная вода отводится из фильтра через среднее распределительное устройство, размещенное в толще фильтрующего материала и разделяющее всю загрузку на два слоя: верхний высотой 600–700 мм и нижний высотой 1500–1700 мм. Работа каждого из этих слоев протекает различно. Верхний слой принимает мутную воду, поступающую в фильтр сверху и, следовательно, работает как однопоточный механический

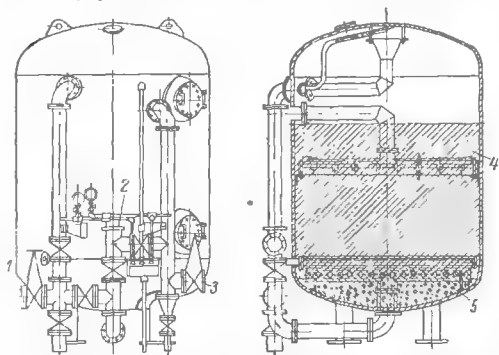


Рис. 6-17. Напорный вертикальный двухпоточный механический фильтр. (В разрезе распределительные устройства условно повернуты).

1 — по вод обрабатываемой воды; 2 — подклет промывочной воды; 3 — выт обработанной воды; 4 — зернистая загрузка; 5 — бетон.

фильтр, т. е. с образованием фильтрующей пленки. Поэтому высота этого слоя предусмотрена небольшая. В нижний слой мутная вода поступает снизу вверх, при этом вода встречается в первую очередь с наиболее крупными частицами фильтрующего материала, размеры которых постепенно уменьшаются кверху в результате их гидравлической сортировки при взрыхляющей промывке. Вследствие этого содержащиеся в воде взвешенные вещества задерживаются не только в лобовой части загрузки, как это имеет место в однопоточных

фильтрах (а также в верхнем слое данного двухпоточного фильтра), проникают на значительную глубину загрузки, отлагаясь в толще фильтрующего материала. Поэтому высота нижнего слоя фильтра предусматривается относительно большой. Благодаря такой организации потоков осветляемой воды двухпоточный фильтр задерживает значительно большее количество взвешенных веществ в течение рабочего цикла, чем однопоточный фильтр такого же диаметра. Грязеемкость таких фильтров в 3—4 раза превышает грязеемкость однопоточных фильтров.

Фронт фильтра имеет дополнительные задвижки, позволяющие регулировать расход воды в верхнюю и нижнюю части фильтра, и подавать отдельно или одновременно промывную воду в нижнее и среднее распределительные устройства.

Опыт эксплуатации двухпоточных механических фильтров показал, что они требуют строгого соблюдения необходимой характеристики зернистости фильтрующего материала (средний размер частиц 0,8—0,9 мм) и коэффициента его неоднородности (порядка 2,5), а также установленного режима промывки. Нарушение этих требований приводило в ряде случаев к неудовлетворительной работе фильтров.

г) Двухслойный механический фильтр

Идея такого фильтра, так же как и двухпоточного, имеет целью повышение его грязеемкости путем организации вместо пленочного фильтрования работы всей толщи фильтрующего материала, но решается эта идея проще, чем у двухпоточного фильтра, позволяя осуществить ее без изменения конструкции фильтра. Для этого у однопоточного механического фильтра, загруженного кварцевым песком, удаляют верхний 200—300-мм слой наиболее мелкого песка, оставляя нижний слой загрузки с размером зерен порядка 0,65—0,75 мм. На него загружают слой дробленого антрацита с крупностью зерен 1,0—1,25 мм. В результате такой замены фильтрующая пленка образовываться не будет, а содержащиеся в поступающей воде взвешенные вещества будут проникать в поры слоя дробленого антрацита и частью отлагаться на поверхности его частиц, а частью задер-

живаться в нижележащем слое кварцевого песка. При взрыхляющей промывке слои песка и антрацита не будут перемещиваться и сохранят свое расположение благодаря тому, что антрацит имеет вдвое меньший удельный вес, чем песок. Такие фильтры могут иметь применение в тех случаях, когда допустимо использование кварцевого песка в качестве фильтрующего материала. Отсутствие достаточно длительного опыта эксплуатации двухслойных фильтров не позволяет сделать окончательные выводы о целесообразности и области их применения.

6.5. ЭКСПЛУАТАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ¹

Для обеспечения нормальной работы механических фильтров необходимо выполнение следующих трех основных условий: 1) хорошо сконструированные и выполненные распределительные устройства фильтра; 2) загрузка фильтра материалом требуемой зернистости и однородности; 3) выполнение надлежащего режима взрыхляющей промывки фильтрующего материала.

Правильная работа распределительных устройств фильтра, как уже указывалось, заключается в том, чтобы обеспечивать равномерное распределение по площади фильтрования потоков воды, т. е. чтобы в любой точке поперечного сечения фильтра скорость прохождения воды была бы по возможности одинаковой.

Это условие удовлетворительной работы распределительных устройств не является существенным для рабочего цикла механического фильтра, обладающего свойством автоматически выравнивать распределение поступающей на него мутной воды. Объясняется это следующим образом. Если в результате плохой работы распределительных устройств фильтров или по каким-либо другим причинам через некоторый участок площади фильтрования будет проходить мутной воды больше, чем через остальную площадь, то в этом участке фильтрующего материала будет задерживаться взве-

¹ Учитывая наличие ведомственных руководящих указаний и инструкций, подробно излагающих условия эксплуатации механических фильтров, в этом параграфе автор ограничивается лишь основными указаниями и пояснениями.

щенных веществ больше, чем на остальных, и следовательно, он будет оказывать большее сопротивление прохождению воды. Рост сопротивления соответственно снизит скорость прохода воды через этот участок, пока она не сравняется со скоростью фильтрации на остальной площади фильтра.

Совсем иначе сказывается неправильная работа распределительных устройств при взрыхляющей промывке механического фильтра. В этом случае увеличение скорости движения промывной воды через некоторый участок фильтрующего материала будет приводить к соответственно лучшему по сравнению с другими участками отмыванию зерен от налипших взвешенных веществ. Такая неравномерная промывка будет неизбежно приводить к постепенному накоплению в фильтре недостаточно отмытых частиц фильтрующего материала. Это обстоятельство будет уменьшать гряземкость фильтра и, следовательно, сокращать длительность его рабочего цикла, а также вызовет постепенное, нарастающее загрязнение фильтрующего материала, которое, в конечном итоге, приведет к перерождению и так называемой цементации загрузки и к необходимости ее замены или химической очистки. Поэтому конструкции распределительных устройств механических фильтров рассчитывают только на условия взрыхляющей промывки фильтрующего материала.

Выше (см. § 6-2) достаточно подробно были рассмотрены основные показатели качества фильтрующего материала (зернистость, однородность и прочность) и их значение для обеспечения нормальной работы механического фильтра. Обеспечение требуемой по проекту водоподготовительной установки характеристики фильтрующего материала является нередко трудновыполнимым, так как у нас пока отсутствуют специализированные предприятия для централизованного дробления и надлежащего рассева загрузочных материалов для механических фильтров, а на строительных-монтажных площадках часто не располагают надлежащим оборудованием (дробилки, комплекты сит) для приготовления загрузки для фильтров из речного, карьерного песка или кускового антрацита. При отсутствии подходящего набора сит приходится иногда ограничиваться отсевом пылевидных и чрезмерно

крупных частиц фильтрующего материала, а также отмывкой от грязи и пыли этого материала непосредственно в фильтрах. Для этого рекомендуется осуществлять взрыхляющую промывку путем вывода промывной воды через верхний боковой лаз и приставленный к нему деревянный лоток, что позволяет быстро удалить мелкие нерабочие фракции загрузки.

Первоначальную загрузку фильтрующего материала производят в предварительно заполненный наполовину родой фильтр, что облегчает удаление с поверхности зерен материала мелких пузырьков воздуха. Наличие этих пузырьков может в дальнейшем вызывать повышенную потерю напора воды. По этим же соображениям при эксплуатации фильтра рекомендуется избегать чрезмерно больших потерь напора в фильтре, так как это может привести к образованию в нижних слоях загрузки вакуума и выделения из воды растворенного воздуха. Для предотвращения воздушного засорения загрузки не следует также при вынужденных остановках фильтров опорожнять их от воды, оголяя фильтрующий материал.

Первоначальную загрузку фильтра или загрузку его после ревизии и ремонта производят всегда несколько больше проектной высоты (на 50—100 мм), так как при первых промывках материала неизбежно будет происходить вымывание мелких частиц. Периодически (1—2 раза в год), в зависимости от прочности фильтрующего материала, производят досыпку его в фильтр.

Разгрузку фильтров для ревизии или ремонта осуществляют в настоящее время преимущественно гидравлическим путем, для чего в закрытый и наполненный водой фильтр подают под давлением воду в нижнее распределительное устройство, а к нижнему боковому люку подсоединяют гибкий шланг, свободный конец которого заводят в резервный пустой фильтр. При этом вода, направляясь через этот люк, увлекает с собой фильтрующий материал, который в виде пульпы (смесь зернистого материала с водой) легко транспортируется.

Взрыхляющая промывка механического фильтра является наиболее ответственной и важной операцией при его эксплуатации, поскольку своевременное и правильное осуществление ее определяет, в знач-

мере восстанавливается способность фильтра удалять взвешенные вещества.

Необходимость промывки механического фильтра определяют обычно по величине заданного для данных конкретных условий конечной потери напора воды. Если количество поступающей на механические фильтры воды и скорость фильтрования ее сохраняются более или менее постоянными, то при обеспечении доброкачественной промывки фильтров длительность рабочего цикла будет также постоянной. Это упрощает эксплуатацию механических фильтров, позволяя обслуживающему персоналу осуществлять промывку по часовому графику.

Величина максимально допустимой конечной потери напора воды в механических фильтрах должна устанавливаться для напорных фильтров с учетом конкретных условий, и хотя не только из-за лагаем го напора промывки воды, но также принимая во внимание характер и истинную в воде взвеси и условия эксплуатации фильтрующего материала, что выявляется в процессе эксплуатации фильтров. Не следует стремиться к чрезмерному увеличению конечной потери напора, так как, хотя это, казалось бы, только приводит к повышению грязеемкости фильтра, но вместе с тем может вызвать затруднения в достижении удовлетворительной промывке фильтрующего материала, что в свою очередь может привести к его ускоренному «перерождению».

Для напорных механических фильтров на основе опыта эксплуатации на водоочистительных установках электростанций допускаемая конечная потеря напора воды колеблется в пределах 10 - 15 и вод. ст.

Основным условием для нормальной промывки фильтрующего материала является обеспечение наиболее полного удаления задержанных этим материалом взвешенных веществ, для чего промывка должна производиться с надлежащей интенсивностью, при которой вся масса фильтрующего материала приводится обратным током воды во взвешенное состояние.

Следует сказать, что большинство затруднений и неполадок при эксплуатации механических фильтров сводятся, в конечном итоге, к нарушению нормальных условий проведения промывки фильтрующего материала.

На первый взгляд может показаться, что обеспечение надлежащей интенсивности промывки не должно вызывать особых затруднений у эксплуатационного персонала. Между тем нередко этому препятствует ряд обстоятельств.

Прежде всего не следует забывать, что необходимая для расширения всей загрузки фильтра интенсивность промывки зависит от характеристики зернистости фильтрующего материала, загруженного в эксплуатируемый фильтр. Эта характеристика по указанным выше причинам обычно отличается от предусмотренной проектом для данной водоподготовительной установки, вследствие чего высота расположения промывного бака или мощность промывных насосов могут оказаться недостаточными для обеспечения нужной интенсивности промывки. Недостаточность интенсивности промывки может вызываться также изменениями конструкции распределительных устройств фильтра или их засорением, что приводит к повышению местных сопротивлений.

Необходимо учитывать также влияние на интенсивность промывки температуры промывной воды, так как уменьшение плотности и вязкости воды с повышением ее температуры требует увеличения интенсивности промывки для получения требуемого расширения загруженного фильтрующего материала. Так, например, повышение температуры промывной воды с $+4^{\circ}\text{C}$ (зимой) до $+25^{\circ}\text{C}$ (летом) может потребовать увеличения интенсивности промывки на 30–40%.

■ Интенсивность промывки определяется скоростью течения воды в фильтре, отнесенной к площади его поперечного сечения и, следовательно, может измеряться в тех же величинах, как и скорость фильтрования, т. е. в л/ч . Чаще предпочитают интенсивность промывки измерять удельным расходом воды в литрах на квадратный метр площади фильтрования в течение 1 сек ($\text{л/м}^2 \cdot \text{сек}$).

Для перехода от удельного расхода к скорости фильтрования достаточно эту величину умножить на 3600, чтобы определить часовой расход воды, и разделить его на 1000, чтобы определить расход в кубических метрах, т. е., в конечном итоге, умножить удельный расход на $3600 : 1000 = 3,6$.

Для контроля за интенсивностью промывки, а также для изменения ее в случае надобности, должен быть установлен расходомер на коллекторе промывной воды со шкалой в указанных выше единицах измерения интенсивности промывки.

На основе опыта эксплуатации промышленных

фильтров рекомендуют осуществлять промывку со следующей интенсивностью:

а) при загрузке фильтров кварцевым песком с размером зерен 0,5 - 1,0 мм — 10 л/м²/сек, или $10 \cdot 3,6 = 36$ л/ч;

б) при загрузке фильтров дробленным антрацитом — 6 л/сек · м², или $6 \cdot 3,6 = 22$ л/ч.

Следует, однако, иметь в виду, что эти рекомендации являются приближенными и могут на практике отклоняться в ту или другую сторону, но рассмотренным выше причинам. Поэтому особенно важным является определять необходимую интенсивность промывки для конкретной водоподготовительной установки, т. е. ту интенсивность, при которой происходит возможно полное удаление задержанных веществ, для чего необходимо, чтобы вся загрузка была приведена во взвешенное состояние.

Обязательность последнего условия вызывает иногда сомнение, поскольку наиболее распространенные однопоточные фильтры работают с образованием фильтрующей пленки, где и сосредоточиваются почти все задержанные фильтром взвешенные вещества. Поэтому, казалось бы, нет надобности приводить во взвешенное состояние самые нижние слои загрузки, почти не принимающие участия в осветлении воды. Это тем более сомнительно, что эти слои являются наиболее крупными по размерам зерен и, следовательно, требуют наибольшей восходящей скорости движения воды для приведения их во взвешенное состояние. Однако такие предложения вряд ли являются справедливыми. Дело в том, что даже при пленочном фильтровании имеются условия для проникновения взвешенных веществ в толщу фильтрующего материала. Это, во-первых, происходит в начальный период рабочего цикла фильтра после его промывки, когда грязевая пленка еще отсутствует, и, во-вторых, при образовании временных прорывов этой пленки вследствие резких колебаний нагрузки фильтра. Разумеется, такое проникновение взвешенных веществ в глубь загрузки будет относительно незначительным, но важно то, что если нижние слои фильтрующего материала не будут приводиться при взрыхляющей промывке во взвешенное состояние, то находящаяся в них порода взвесь почти не будет удаляться с промывной во-

дой, в результате чего в этих слоях будет происходить постепенное накопление загрязнений, их уплотнение на поверхности зерен и цементация этих слоев загрузки. Последнее обстоятельство приведет к повышению сопротивления этой части загрузки и, следовательно, при прочих равных условиях к снижению интенсивности промывки фильтра, что в свою очередь может повлечь к недостаточности промывки и остаточным загрязнениям в вышеуказанных слоях фильтрующего материала. На практике известны случаи, когда в результате недостаточной интенсивности промывки фильтра значительная часть его загрузки превращается в сплошную цементированную массу.

Каким же образом в промышленных условиях определить необходимую интенсивность промывки механических фильтров? Из сказанного следует, что для этого необходимо каким-то образом иметь возможность контролировать состояние фильтрующего материала. Существуют различные методы такого контроля, например, путем отбора с различной глубины проб фильтрующего материала и путем специальных промывок этих проб в лабораторных условиях для определения остаточного загрязнения. Имеются также различные устройства, позволяющие определять в процессе промывки, какая часть загрузки приведена во взвешенное состояние. Однако все эти методы громоздки, требуют специальных приспособлений и поэтому малоприменимы для использования в производственных условиях.

Но имеется один косвенный показатель качества промывки механического фильтра, контролировать который относительно просто и удобно. Это начальная потеря напора воды в фильтрующем материале. Дело в том, что, если при взрыхляющей промывке фильтрующего материала удаляются практически полностью все задержанные фильтром в течение рабочего цикла взвешенные вещества, то начальная потеря напора в чистом фильтрующем материале должна характеризоваться примерно одной и той же величиной. Это положение, разумеется, будет справедливым при условии, если все остальные факторы, могущие оказать влияние на величину начальной потери напора загрузки фильтра, также останутся без изменения. Здесь следует в первую очередь иметь в виду скорость фильтрования и высоту

соя загрузки, поэтому при контролировании начальной потери напора необходимо обеспечивать сохранение нормальной высоты загрузки и постоянную скорость фильтрования. Замерять величину начальной потери напора не обязательно после каждой промывки, поскольку накопление остаточных загрязнений в фильтре происходит обычно относительно медленно и их трудно будет обнаружить за короткий промежуток времени. Вполне достаточно такие замеры производить два-три раза в месяц. Предпочтительно пользоваться для этого ртутным дифманометром, но и обычные пружинные манометры, устанавливаемые на всех фильтрах, при внимательном за ними уходе могут также сигнализировать процесс недопустимого накопления в загрузке фильтра взвешенных веществ.

С точки зрения качества промывки вредным для работы фильтра является недостаточная ее интенсивность, поэтому можно было бы рекомендовать в тех случаях, когда позволяет имеющееся оборудование, производить промывку фильтров с заведомо большей интенсивностью. Однако следует иметь в виду, что это будет приводить к повышенному расходу промывной воды и, следовательно, увеличению себестоимости обработанной воды. Кроме того, при недостаточной однородности фильтрующего материала такая чрезмерно интенсивная промывка может привести к уносу с промывной водой мелких фракций фильтрующего материала.

Для промывки однопоточных фильтров обычно достаточно 5—6 мин, а для двухпоточных и двухслойных фильтров 10—15 мин. За этот период при достаточной интенсивности промывки удаляется почти все количество задержанной фильтром взвеси. Некоторая незначительная часть взвешенных веществ все же остается на поверхности зерен фильтрующего материала. Происходит это вследствие явлений так называемой адсорбции, когда мельчайшие частицы взвеси достаточно прочно прикрепляются к поверхности зерен, и вследствие пористости материала, затрудняющей вымывание задержанной в порах взвеси. Увеличение длительности промывки обычно не дает достаточного эффекта, повысив в то же время значительно расход воды на промывку. Идеально полное удаление из фильтра задержанной им взвеси невозможно, если даже вести промывку до получения

высокой прозрачности выходящей из фильтра промывной воды. Приходится считаться с неизбежным постепенным накоплением в фильтрующем материале остаточных загрязнений, что приводит к перерождению и постепенному старению загрузки. Этот процесс, однако, при нормальной эксплуатации механического фильтра происходит чрезвычайно медленно и может вызвать необходимость частичной смены фильтрующего материала не ранее, чем через 5—7 лет, а иногда и более.

Современные конструкции механических фильтров предусматривают возможность применения при промывке фильтрующего материала сжатого воздуха, для чего в нижней части корпуса фильтра имеется специальное распределительное устройство. Прорывающиеся снизу через фильтрующий материал пузырьки воздуха способствуют его перемешиванию, взаимному перетиранию зерен загрузки и более полному ее отмыванию. Кроме того, одновременная подача воздуха и промывной воды позволяет уменьшить ее расход и повысить интенсивность водной промывки. Поэтому применение сжатого воздуха целесообразно в первую очередь в тех случаях, когда требуемое увеличение интенсивности промывки (крупнозернистая загрузка и пр.) не может быть обеспечено имеющимися средствами.

Механические фильтры требуют проведения периодических (3—4 раза в год) ревизий, при которых производят наблюдение через верхний люк за равномерностью промывки, за состоянием поверхности фильтрующего материала и в случаях необходимости осуществляют досыпку его до нормального уровня. При проведении капитального ремонта (обычно не чаще чем 1 раз в 2—3 года) выгружают материал и проверяют состояние распределительных устройств.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ИОНООБМЕННОЕ ФИЛЬТРОВАНИЕ ВОДЫ

7-1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Ионообменное фильтрование воды является в настоящее время обязательной и основной стадией химической обработки воды для паровых котлов электростанций, независимо от качества исходной сырой воды.

Объясняется это специфическими особенностями этого метода обработки воды, благодаря которым он позволяет получать обработанную воду высокого качества, удовлетворяющую требованиям паровых котлов любых давлений.

В отличие от механического фильтрования воды, при котором состав растворенных в обрабатываемой воде веществ не претерпевает никаких изменений, ионообменное фильтрование воды имеет целью изменение в желаемом направлении ионного состава воды путем пропускания ее через специальные мелкозернистые вещества, называемые ионообменными материалами, или ионитами, которые загружаются в резервуары, называемые ионитными фильтрами. Поступающая на такой фильтр под некоторым напором обрабатываемая вода просачивается через поры, образуемые зернами ионообменного материала, оставляя в нем часть своих ионов, взамен которых ионит отдает фильтруемой воде эквивалентное количество других ионов. Таким образом, в результате такого своеобразного обмена ионами происходит химическое изменение состава как фильтруемой воды, так и самого ионита.

Несмотря на столь существенное различие между механическим и ионообменным фильтрованием воды, эти два процесса имеют много общего, в основном равнозначных элементов и понятий. В обоих случаях имеет место процесс просачивания обрабатываемой воды под некоторым напором через зернистые материалы. Причем зернистость и тех и других материалов имеет весьма близкие характеристики. Естественно, что при движении воды сквозь слой ионита последний оказывает сопротивление этому движению, в результате чего происходит потеря напора в ионитном фильтре. При этом, так же как и для механического фильтра, эта потеря напора зависит от характеристики зернистости ионита, высоты его загрузки и скорости фильтрования и будет для конкретных условий величиной постоянной. Однако в то время, как при механическом фильтровании потеря напора в процессе рабочего цикла фильтра постепенно увеличивается (по мере задержания им содержащейся в воде взвеси), при ионообменном фильтровании начальная потеря напора, если и будет возрастать, то чрезвычайно медленно.

Аналогично механическим фильтрам длительность рабочего цикла ионитных фильтров определяется способностью загруженного в них материала осуществлять заданную полезную работу. У механических фильтров эта способность определяется грязеемкостью фильтрующего материала, а для ионитных фильтров она заключается в возможности осуществлять требуемый обмен ионов между ионитом и фильтруемой водой и называется обменной емкостью ионитного материала.

Обменная емкость ионита определяется количеством ионов в грамм-эквивалентах, которое поглощает 1 м³ материала и обозначается сокращенно *г-экв/м³*. Обменная емкость ионитного фильтра определяется путем умножения величины обменной емкости загруженного в него ионита на объем загрузки в кубометрах.

Аналогично механическому фильтру рабочий цикл ионитного фильтра прекращается после использования его обменной емкости, т. е. после того, как практически все способные к обмену ионы ионита будут заменены соответствующими ионами фильтрующей воды.

По окончании рабочего цикла ионитного фильтра необходимо проведение цикла регенерации, имеющего целью восстановление рабочей способности загруженных в фильтры материалов. При этом у механических фильтров из фильтрующего материала удаляются задержанные им взвешенные вещества, а у ионитных фильтров удаляются задержанные ионы из фильтруемой воды. Но у ионитных фильтров, помимо удаления задержанных ионов, необходимо ввести взамен их новые ионы, которые он отдавал бы фильтруемой воде в период рабочего цикла. Таким образом, регенерация ионитного фильтра сводится тоже к проведению процесса ионного обмена, но в обратном порядке по сравнению с рабочим циклом.

Как можно видеть из проведенного сопоставления работы механических и ионообменных фильтров, условия работы основных элементов их конструкций и предъявляемые к ним требования сходны между собой.

Но этим и ограничивается аналогия между механическим и ионообменным фильтрованием, так как происходящие в ионитных фильтрах процессы, разумеется, существенно отличаются от простого механического задержания присутствующей в воде взвеси.

Для того чтобы иметь достаточно ясное представление о процессах ионного обмена, происходящих в ионит-

ных фильтрах, необходимо прежде всего хотя бы в самых общих чертах познакомиться с ионообменными материалами, их характерными особенностями и предъявляемыми к ним требованиями.

7-2. ИОНИТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Подавляющее большинство применяемых в настоящее время ионообменных материалов относится к разряду веществ, называемых пластическими массами, типом синтетических¹ смол. Отличительным признаком таких веществ являются размеры и структура их молекул. В то время как молекулы неорганических соединений, да и многих органических соединений (сахара, красители, спирты и др.), имеют очень малые размеры и состоят из небольшого числа атомов (редко более десяти), молекулы синтетических смол состоят обычно из тысяч, а иногда и десятков тысяч прочно связанных между собой атомов. Состоящие из таких молекул «гигантов» вещества получили название высокомолекулярных веществ. Из природных соединений к высокомолекулярным веществам относятся белки, клетчатка и др.

Ионообменные смолы, относящиеся к высокомолекулярным веществам, имеют некоторые специфические свойства, отличающие их от обычных пластмасс и вытекающие из предъявляемых к ним требований. К этим отличительным свойствам ионитов относятся их нерастворимость и способность к реакциям ионного обмена. Эти два свойства, казалось бы, трудно совместимы, поскольку наиболее благоприятные условия для реакций ионного обмена создаются именно между растворимыми электролитами, распадающимися в растворе на подвижные ионы. Однако эту трудную задачу химики разрешили путем создания смол особой структуры, состоящей из твердой, нерастворимой молекулярной сетки, в отдельных местах которой присоединены активные группы атомов, способных к диссоциации в воде на ионы, один из которых, будучи неразрывно связан с твердым каркасом смолы, придает ей соответствующий электрический заряд, а другие с противоположным зарядом имеют некоторую ограниченную подвижность

¹ Т. е. полученных искусственным путем из более простых веществ.

вблизи поверхности частиц смолы. Таким образом, ионообменные смолы являются своеобразными твердыми электролитами, главная составная часть которых представляет собой нерастворимый и неподвижный ион с большим числом зарядов, нейтрализованных окружающими его небольшими подвижными ионами с противоположными зарядами.

В упрощенном виде схема структуры ионообменного материала представлена на рис. 7-1. В зависимости от характера активных групп смолы ее подвижные, способные к обмену ионы могут иметь или положительный заряд (рис. 7-1,а) (тогда такую смолу называют катио-

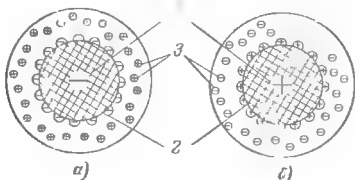


Рис. 7-1. Схема структуры молекулы ионита

а — катионит; б — анионит.

1 — твердый многоатомный каркас ионита; 2 — связанные с каркасом неподвижные ионы активных групп; 3 — ограниченно подвижные ионы активных групп, способные к обмену.

нитом), или отрицательный заряд (рис. 7-1,б) (тогда смолу называют анионитом). Когда положительным подвижным ионом катионита является ион водорода —H^+ , то такой катионит является по существу многовалентной кислотой, так же как анионит с обменным гидроксильным ионом —OH^- является многовалентным основанием. Подвижность способных к обмену ионов ограничивается расстояниями, при которых не теряется взаимосвязь их с неподвижными ионами противоположного заряда на поверхности ионита. Это ограниченное вокруг молекулы ионита пространство, в котором находятся подвижные и способные к обмену ионы, называют ионной атмосферой ионита.

В целях снижения эксплуатационных затрат целесообразно стремиться к увеличению длительности рабочей

го цикла ионных фильтров. Это в первую очередь определяется величиной обменной емкости применяемых ионитов, что зависит от числа активных групп на поверхности зерен ионита. Поверхностью ионита является также поверхность углублений, пор, капалов и пр. Поэтому предпочтительнее иметь иониты с пористой структурой. По этим же соображениям зернистость ионитов обычно не превышает 1,0—1,2 мм. Нижний предел ограничивается размером зерен 0,5—0,6 мм, что диктуется стремлением иметь по возможности однородный по зернению материал. Требования к характеристике зернистости ионообменных и фильтрующих материалов в основном совпадают, поскольку они в равной степени обеспечивают минимальные потери напора воды и растворов реагентов в фильтрах.

Все сказанное выше о прочности фильтрующих материалов (см. гл. 6) остается в значительной мере справедливым и для ионообменных материалов. Необходимо лишь учитывать особое значение химической прочности ионитов, поскольку это может привести к существенному ухудшению качества обработанной воды и при том в «хвостовой» части водоподготовительной установки, после которой вода уже непосредственно направляется к потребителю. Помимо этого, при последовательном фильтровании обрабатываемой воды через фильтры с различными ионитами при недостаточной химической прочности их может происходить засорение ионитов продуктами распада предыдущего по ходу воды материала.

В настоящее время химическая промышленность выпускает различные марки ионообменных материалов (катионитов и анионитов), получивших широкое применение не только для целей химической обработки воды, но и в самых разнообразных отраслях техники, науки и быта.

Применение ионитов в различных технологических процессах позволяет значительно сократить трудоемкость многих операций, переводя их на непрерывный процесс и получая конечные продукты в более чистом виде.

В металлургической промышленности ионы применяются для улавливания ценных металлов при незначительном их содержании в отходах и сточных водах, для выделения редких элементов и пр.; в химической промышленности — для получения различных химических продуктов высокой чистоты и пр.; в пищевой промышленности — для очистки сахарных соков; в виноделии — для переработки этанола и улучшения качества вина; в целлюлозно-бумажной промышленности —

для раскисления молока и регулирования его солевого состава;
в и й м и т и в х т ч и я и к
латоки, д ж ж и р, в ф р м а ц и к м ш и н и — л я
и в е ч и я р е п и п и л и а, и i в и м . а п
ч и я м т и х т в i х п р а в; в а i й
м ы ш i н — д е я , в в и я р i т и в х , м в и п
дуктов на распаде.

П и н и и ш о к , м е е t а i t i m i t
ка бь. п ч н) н ы е n x o m
т ф и ч к i a) ; и н ы и п t я и t в e b
ских целей, а также для контроля выпускаемой продукции.

В м д и t и x i t i t и t и t o v
х в и . В д и e i a n b и t п e ш
и ч и v з и ж и p i t i a в t я i t i a v ж
людка, гипертонии, эпилепсии и др.

В быту иониты используются для получения мягкой воды, при-
меняемой для стирки белья и других хозяйственных нужд.

Вот далеко не полный перечень возможного использования
ионитов, которые с каждым годом находят все новые и новые
области для своего применения.

7.3. СУЩНОСТЬ ИОНООБМЕННОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ

Несмотря на то, что изучению циркуляции ионов
мембран, оуществляемой между твердыми и нитями и
растворами электролитов, посвящено большое количе-
ство работ, до сего времени отсутствует общепризнан-
ная теория ионного обмена, и точное решение отдельных
исследователей этого вопроса в многом существенно
отличаются. Такое положение, по-видимому, объясняет-
ся в значительной степени наличием большого числа
факторов, оказывающих влияние на протекание про-
цесса. Наиболее существенными из них являются:
электродействие мембраны, величина ионов, сорбция, диф-
фузия, гидратация, гидратация ионов, активность и по-
движность ионов, величина рН раствора.

Даже поверхностное рассмотрение теории ионного
обмена, хотя к тому же не входит в задачу данной кни-
ги, заставляло бы нас лишь оговориться. Поэтому опи-
таемся описать этот процесс в упрощенном виде, упи-
тывая лишь самое важное, без чего нельзя составить
о нем правильного представления. Общепризнанными и
доказанными многочисленными опытами являются сле-
дующие положения: 1) ионный обмен протекает в стро-
го эквивалентных количествах, т. е. соблюдаются опре-
деленные весовые соотношения между реагирующими
веществами (такие соотношения называют в химии

стехиометрическими); 2) ионный обмен является обратимым процессом; 3) ионный обмен подчиняется закону действия масс.

Рассмотрим в самом общем виде, как протекает рабочий цикл в ионитном фильтре. Для этого мысленно проведем вертикальный разрез фильтра с ионообменным материалом и выделим элементарную струйку обрабатываемой воды, омывающую вертикальный ряд молекул ионита, причем для простоты ограничимся десятком такими молекулами. Разумеется, в действительности число таких молекул в ионитном фильтре огромно и расположены они далеко не строго вертикально одна над другой. Далее представим себе, что мы можем наблюдать за элементарной струйкой через некий увеличительный прибор, позволяющий нам видеть молекулы, атомы и ионы. Тогда, если мы на протяжении рабочего цикла ионитного фильтра будем делать через некоторые промежутки времени фотоснимки этой элементарной струйки, мы получим ряд последовательных кадров, которые позволят нам увидеть, какие изменения происходят в обрабатываемой воде и в молекулах ионита в период работы фильтра. Схематическое изображение шести таких кадров представлено на рис. 7-2.

Нерастворимая многоатомная твердая часть молекул ионита изображена на этом рисунке в виде заштрихованных кружков, а образующие вокруг них ионную атмосферу ограниченно подвижные ионы изображены белыми кружочками, назовем их условно «белые ионы». Находящиеся в обрабатываемой воде и подлежащие удалению из нее ионы обозначены черными кружочками, назовем их условно «черными ионами». Задача ионитного фильтра заключается в осуществлении ионного обмена, в результате которого черные ионы переходят в ионную атмосферу молекул ионита, а взамен их в воду поступают из той же ионной атмосферы белые ионы.

Начало рабочего цикла фильтра зафиксировано на I кадре рис. 7-2. Мы видим, что наиболее интенсивно обмен черных ионов на белые протекает при соприкосновении обрабатываемой воды с I по ходу молекулой ионита, когда вода содержит максимальное количество черных ионов, далее у 2 молекулы он ослабевает, поскольку обтекающая ее вода имеет уже некоторое количество белых ионов; у 3 молекулы он становится еще слабее; на-

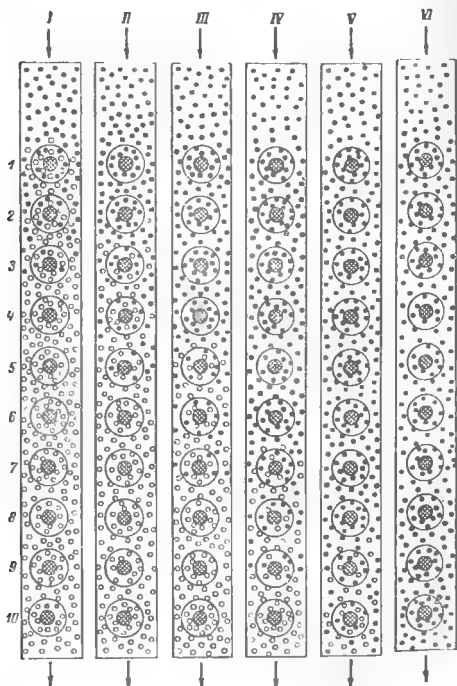


Рис. 7-2. Схема работы неовитного фильтра.

конец, после 3 молекулы вода уже не содержит черных ионов¹. Но означает ли это, что при прохождении мимо следующих молекул ионный обмен прекращается? Нет, обмен ионов продолжается, но поскольку и вода, и ионит содержат только белые ионы, этот обмен не вызывает никаких изменений у них и будет для нас незаметным.

На II кадре, заснятом через некоторый промежуток времени работы ионитного фильтра, мы видим, что 1 и 2 ряды молекул ионита обменяли все находившиеся в их ионной атмосфере белые ионы на черные¹ и поэтому хотя ионный обмен с водой у них продолжает протекать, но он не приводит к каким-либо изменениям как этих молекул ионита, так и проходящей мимо них воды. Обмен черных ионов воды на белые ионы молекул ионита переместился ниже и происходит сейчас у 3, 4 и 5 молекул. Таким образом, мы различаем здесь три зоны ионообменного материала.

Первая зона — молекулы 1 и 2 — ее называют зоной истощенного ионита, поскольку все находившиеся в ней белые ионы использованы для обмена на черные ионы.

Вторая зона — молекулы 3, 4 и 5. Ее обычно называют работающей зоной. Здесь обрабатываемая вода начинает и заканчивает полезный для нее обмен черных ионов на белые. Поскольку ионный обмен происходит на всем пути прохождения воды через ионит, то правильнее называть эту зону зоной полезного обмена.

Третья зона — молекулы 6—10. Ее называют зоной неработавшего ионита или свежего ионита. Проходящая через этот слой обработанная вода содержит только белые ионы и поэтому не может изменять состав ионита.

По мере работы ионитного фильтра (см. кадры III, IV и V) зона истощенного ионита возрастает, заставляя опускаться зону полезного обмена за счет уменьшения зоны свежего ионита. При этом, как можно видеть на кадре V, зона полезного обмена уже частично вышла за нижнюю границу загрузки фильтра и поэтому выходящая

¹ В действительности, как следует из закона действия масс абсолютно полная замена ионов как в воде, так и в ионите, не возможна. Допущенное на рис. 7-2 отступление сделано для более наглядности состояния отдельных зон загрузки ионитного фильтра. Когда все ионы пройдут, то ионит будет полностью истощен.

из фильтра обработанная вода содержит некоторое количество черных ионов. Здесь собственно рабочий цикл фильтра заканчивается, так как на кадре VI зона истощения распространяется на все ряды молекул, от 1 до 10 и выходящая из фильтра вода содержит только черные ионы. В последнем случае при прохождении обрабатываемой воды через ионитный фильтр происходит обмен черных ионов на черные ионы, т. е. состав воды не претерпевает никаких изменений.

Изображенный на рис. 7-2 процесс можно представить в виде следующего уравнения:



где нерастворимая молекулярная часть молекулы ионита обозначена буквой M , а белый и черный ионы соответственно через I_1 и I_2 .

Направленные в противоположные стороны стрелы указывают на обратимость процесса, который при равенстве скоростей двух взаимопротивоположных реакций приводит к динамическому равновесию, внаследствие чему, которое мы рассматривали, знакомясь с процессами регенерации и электролитической диссоциации.

Регенерация истощенного ионита сводится к замене черных ионов в его молекулах на белые. Это достигается путем пропускания через истощенный ионит раствора электролита, содержащего белые ионы, при этом их количество должно превышать стехиометрическое соотношение обмениваемых ионов для того, чтобы реакция обмена по приведенному выше уравнению пошла бы справа налево.

Рассмотренный рабочий цикл ионообменного фильтра представлен, так сказать, в идеальном виде, что было сделано для простоты изложения. В действительности указанный выше ряд факторов, оказывающих влияние на процесс ионного обмена, вносит в него некоторые изменения. С этими изменениями мы познакомимся в параграфах, излагающих практическое применение ионнообмена для обработки воды на электростанциях.

Помимо чисто технологических факторов, существенно влияющие на работу ионитного фильтра оказывают степень равномерности распределения по площади фильтрования потоков проходящей через него воды. Эта равномерность определяется качеством конструкции аппарата.

делительных устройств и нормальными условиями их работы.

Рассматривая выше (рис. 7-2) рабочий цикл ионитного фильтра, мы ограничились одной струйкой обрабатываемой воды. Этого было достаточно для удовлетворительного объяснения сущности процесса ионного обмена. Но одна струйка не могла дать представления о гидравлике всего потока проходящей через ионообменный материал воды. Между тем обычный промышленный ионит-

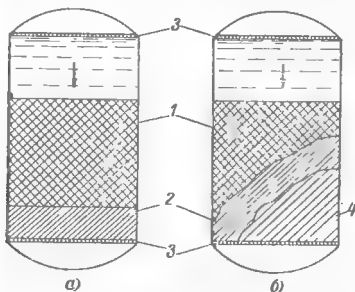


Рис 7-3. Схема окончания рабочего цикла ионитного фильтра.

а — равномерное распределение потока воды; б — неравномерное распределение потока воды.
1 — зона истощенного ионита; 2 — зона полезного обмена;
3 — распределительное устройство; 4 — зона свежего ионита.

ный фильтр диаметром 3,0 м имеет площадь фильтрования 7,0 м² и высоту загруженного ионообменного материала 3,0 м. При таких габаритах фильтра всякого рода неравномерности в прохождении потока обрабатываемой воды могут оказывать существенное влияние на характеристику его рабочего цикла. Для иллюстрации этого положения на рис. 7-3 представлены два варианта работы промышленного фильтра в момент окончания его рабочего цикла.

Первый вариант (рис. 7-3, а) дает картину идеального равномерного прохождения воды через ионит, когда все многочисленные струйки обрабатываемой воды проходят

примерно одинаковый путь и с одинаковой скоростью, благодаря чему рассмотренные выше зоны ионита имеют границы, разделяющие загрузку фильтра по горизонтальным плоскостям. При такой работе ионитного фильтра, когда нижняя граница зоны полезного обмена достигает низа фильтра одновременно во всех точках площади фильтрования, можно считать, что вся масса загруженного материала использована до состояния истощения, требующего регенерации.

Однако опыт эксплуатации промышленных ионообменных фильтров показывает, что во всех случаях наблюдаются известные нарушения описанного выше идеального равномерного прохождения обрабатываемой воды через загрузку ионитного фильтра. Поэтому граница зоны полезного обмена принимает различные очертания, отклоняясь в ту или другую сторону от горизонтальной плоскости сечения фильтра. Одно из таких возможных отклонений изображено на рис. 7-3,б. Вследствие различного сопротивления прохождению воды по площади поперечного сечения фильтра в нем получился гидравлический перекося, в результате которого расход воды в левой части значительно превысил ее расход в правой части. Такой перекося вызвал более ускоренное истощение ионита в левой части фильтра, где нижняя граница зоны полезного обмена уже достигла выходного коллектора распределительного устройства и вызвала ухудшение качества обработанной воды, в то время как правая часть загруженного ионита остается еще в значительной части не использованной.

Наличие описанного гидравлического перекося у промышленных ионитных фильтров подтверждается применяемым нередко способом продления их рабочего цикла путем кратковременной подачи в такой фильтр обработанной воды снизу вверх. Происходящие при этом взрыхление и перемешивание всех зон ионообменного материала позволяют затем получать еще дополнительно некоторое количество обработанной воды нормального качества. Это количество дополнительной воды тем больше, чем больший у фильтра гидравлический перекося и, следовательно, в какой-то степени характеризует состояние распределительных устройств фильтра. Вообще же следует признать, что полное устранение таких перекося в фильтрах с неоднородным зернистым материалом прак-

тически не представляется возможным. Однако связанное с таким перекосом снижение полезного использования загружаемых в фильтры ионообменных материалов в настоящее время устраняется путем применения так называемой схемы двухступенчатого ионного обмена.

Эта схема (рис. 7-4) сводится к последовательному пропуску обрабатываемой воды через два ионитных фильтра первой и второй ступеней, при этом некоторое преждевременное увеличение количества черных ионов в воде, выходящей из фильтра первой ступени, не вызы-

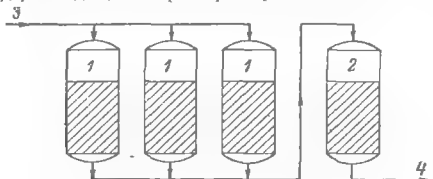


Рис. 7-4. Схема двухступенчатого ионного обмена.
1—фильтры первой ступени; 2—фильтры второй ступени; 3—сырая вода; 4—обработанная вода.

вает необходимости отключать его на регенерацию, так как эти ионы будут надежно поглощаться фильтром второй ступени. Незначительное содержание черных ионов в воде, поступающей на фильтр второй ступени, позволяет осуществлять фильтрование через него этой воды с большой скоростью (в 3—4 раза выше, чем на фильтрах первой ступени) и поэтому один фильтр второй ступени обслуживает обычно несколько фильтров первой ступени. Кроме того, двухступенчатое ионирование дает возможность обеспечивать более глубокое удаление из воды черных ионов. Наконец, наличие второй ступени ионирования создает своего рода барьер¹, препятствующий при различного рода случайных отклонениях в условиях работы фильтров первой ступени проскоку черных ионов, обеспечивая тем самым надежное получение обработанной воды высокого качества. При этом значительно упрощается контроль качества воды после филь-

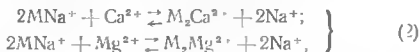
¹ Поэтому фильтры второй ступени называют часто барьерными.

тров первой ступени. Преимущества двухступенчатой схемы ионного обмена явились причиной ее быстрого и повсеместного распространения как в большой энергетике, так и в промышленных котельных малой мощности.

7.4. КАТИОННЫЙ ОБМЕН

а) Натрий-катионирование

Обработка воды методом ионного обмена получила наибольшее распространение на электростанциях в целях изменения состава растворенных в воде катионов и в первую очередь для удаления из нее накипеобразующих катионов кальция и магния и замены их катионом натрия, который образует хорошо растворимые в воде соединения (табл. 3-1). Этот процесс получил название натрий-катионирования (Na-катионирования) воды. По аналогии с написанным выше уравнением ионного обмена в общем виде процесс натрий-катионирования можно представить в виде следующих уравнений.



где серыми ионами являются ионы кальция и магния, а белыми — ионы натрия.

Как показывают эти уравнения, каждый двухвалентный ион кальция и магния заменяется двумя одновалентными ионами натрия, т. е. обмен происходит в эквивалентных количествах. В левой части этих уравнений молекулы свежего ионита имеют в окружающей их ионной атмосфере катионы натрия. Такой ионит называют натрий-катионитом (Na-катионитом). Соответственно истощенный ионит в правой части называют кальций-катионитом (Ca-катионитом) и магний-катионитом (Mg-катионитом).

Рассмотрим сначала процесс регенерации истощенного катионита, т. е. процесс обратного обмена катионов, при котором кальций-катионит и магний-катионит вновь превращаются в натрий-катионит. Для этого через истощенный фильтр пропускают раствор хлористого натрия (поваренной соли), содержащий ион натрия, при этом верхние слои загруженного в фильтр катионита будут омываться регенерационным раствором, наиболее бога-

тым катионами натрия, что обеспечит достаточно полный их обмен на катионы кальция и магния в молекулах катионита. Однако по мере прохождения соляного раствора в нижележащие слои катионита в нем будет все больше и более увеличиваться содержание вытесняемых из ионита катионов кальция и магния при одновременном снижении концентрации катионов натрия. Это обстоятельство будет тормозить полезный обмен катионов. В результате, по мере опускания соляного раствора в нижние слои ионита его регенерация будет протекать менее полно, т. е. некоторое количество катионов кальция и магния останется не вытесненной из ионной атмосферы молекул ионита. Это положение можно было бы в значительной мере устранить путем дальнейшего пропускания через ионит все новых свежих порций регенерационного раствора. Для этого потребовался бы весьма значительный расход соли, что экономически не оправдывается, поскольку стоимость реагента при ионообменном фильтровании является одной из основных составных частей эксплуатационных расходов. Поэтому ограничиваются пропуском соли в количестве, превышающем в 3,0—3,5 раза стехиометрическое соотношение обмениваемых катионов, что обеспечивает относительно удовлетворительную регенерацию ионита.

Рассмотрим рабочий цикл отрегенированного катионитного фильтра. Жесткая вода, содержащая катионы кальция и магния и поступающая в фильтр сверху вниз, приходит сначала в соприкосновение с наиболее хорошо отрегенированными слоями катионита, молекулы которых содержат в своей ионной атмосфере почти исключительно катионы натрия. Вследствие этого катионный обмен будет происходить в этих слоях достаточно полно и умягченная вода будет содержать минимальное остаточное количество катионов кальция и магния. Однако по мере опускания в нижележащие слои катионита обрабатываемая вода будет встречаться с молекулами катионита, все более загрязненными катионами кальция и магния, что будет тормозить полезный катионный обмен. Кроме того, в природных водах наряду с катионами кальция и магния всегда присутствует некоторое количество катионов натрия, которые также будут тормозить полезный обмен ионов. Эти обстоятельства приводят к увеличению остаточной жесткости умягченной

воды, причем в тем большей степени, чем выше жесткость сырой воды и начальное содержание в ней катионов натрия.

Обычно при натрий-катионировании наиболее глубокое умягчение воды достигается в начале рабочего цикла. В этот период умягченную воду можно получить с остаточной жесткостью, не превышающей 10 мг-экв/л. Затем на протяжении рабочего цикла она постепенно медленно нарастает до 20—30 мг-экв/л и когда зона полезного обмена достигает низа загрузки фильтра, начинает быстро увеличиваться. В этот момент фильтр отключается на регенерацию.

Как видно из уравнений (2), анионный состав воды после натрий-катионитного фильтра остается без изменения, а общее солесодержание ее в результате замены кальция и магния на натрий даже несколько возрастает. Эти два обстоятельства существенно отличают метод натрий-катионирования от метода осаждения, при котором (см. главу 5) в результате освобождения воды от кальция, магния и бикарбонатного иона происходит заметное уменьшение солесодержания обработанной воды и ее щелочности. В натрий-катионированной воде щелочность эквивалентна карбонатной жесткости сырой воды, т. е. содержанию иона HCO_3^- , а так как в природных водах обычно преобладающая часть жесткости является карбонатной, то это приводит к относительно высокой щелочности вод после обработки их методом натрий-катионирования.

б) Водород-катионирование

Указанный недостаток натрий-катионирования может быть устранен, если вместо катиона натрия «заряжать» ионит катионом водорода H^+ , для чего истощенный понообменный материал регенерируют раствором какой-либо кислоты. Обычно для этой цели применяют, как наиболее доступную и дешевую, серную кислоту H_2SO_4 , которая в водном растворе диссоциирует на два катиона водорода H^+ и сульфатный анион SO_4^{2-} . При пропуске такого раствора через истощенный ионит происходит катионный обмен, в результате которого кальций-катионит и магний-катионит превращаются в водород-катионит (Н-катионит). При умягчении жесткой

воды путем пропуска ее через водород-катионитный фильтр все катионы этой воды — Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} и др. — заменяются на катион H^{+} . Часть катионов водорода взаимодействует с присутствующим в умягчаемой воде бикарбонатным анионом, образуя углекислоту и воду:



Последнее обстоятельство, так же как при известковании, приводит к снижению щелочности и солевого содержания умягченной воды. Остальная часть попавших в обработанную воду катионов водорода уравнивает оставшиеся в ней анионы Cl^{-} , SO_4^{2-} , образуя диссоциированные в воде соляную и серную кислоту. Таким образом, вода, прошедшая водород-катионитный фильтр, всегда имеет кислую реакцию. Поэтому водород-катионирование сочетают с натрий-катионированием, дающим, как указывалось выше, щелочную воду благодаря наличию в ней бикарбонатного аниона HCO_3^{-} . При смешении водород-катионированной и натрий-катионированной воды происходит нейтрализация щелочности кислотой в результате взаимодействия H^{+} и HCO_3^{-} по уравнению (3). Пропуская часть обрабатываемой воды через водород-катионитные фильтры, а часть — через натрий-катионитные фильтры и регулируя в зависимости от характеристик сырой воды производительности этих двух групп фильтров, получают в результате смешения умягченную воду с желаемой величиной остаточной щелочности.

Образующуюся в результате нейтрализации по уравнению (3) свободную углекислоту удаляют из умягченной воды, пропуская ее через удалитель углекислоты, или, как его чаще называют, декарбонизатор, представляющий собой колонку с деревянной насадкой или заполненную керамическими кольцами, сверху которые стекает вода, а навстречу ей с помощью вентилятора подается воздух.

в) Аммоний-катионирование

Этот метод обработки воды заключается в замене всех катионов сырой воды на катион аммония NH_4^{+} , для чего истощенный катионит регенерируют какой-либо солью, содержащей этот катион, например хлористым аммонием NH_4Cl . Выходящая из аммоний-катионитного фильтра умягченная вода содержит только соли ам-

мония — NH_4HCO_3 , NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ — и имеет нейтральную реакцию. Однако, попадая в котел, эти соли при высокой температуре распадаются с образованием газообразного аммиака, уходящего с паром, и свободных кислот:



Помимо аммоний-катионирования, так же как и водород-катионирование, сочетают с натрий-катионированием, нейтрализуя образующиеся кислоты щелочной натрий-катионированной водой. Таким образом, в то время как водород-катионирование требует кислотостойких покрытий фильтров, трубопроводов и арматуры, аммоний-катионирование не требует таких покрытий, так как этот процесс протекает в нейтральной среде, и лишь в котле аммоний-катиону связанная вода могла бы дать кислую реакцию. Однако аммоний-катионирование приводит к повышенному содержанию аммиака в паре, что при одновременном присутствии в конденсате растворенного кислорода приводит к аммиачной коррозии латуни и других медных сплавов. Это обстоятельство исключает возможность применения аммоний-катионирования на электростанциях. Этот метод используют преимущественно в промышленных котельных.

г) Противоточное катионирование

Как отмечалось выше, при рассмотрении процесса натрий-катионирования воды, полнота регенерации ионообменного катионита снижается по направлению пропуска регенерационного раствора и поэтому при фильтровании в том же направлении жесткой воды последняя по мере прохождения через катионит будет приходить в соприкосновение со слоями катионита, все более загрязненными катионами кальция и магния, тормозящими полезный ионный обмен и снижающими глубину умягчения воды. Для борьбы с этим явлением возникла идея¹ пропуска через ионит регенерационного раствора и обрабатываемой воды в противоположных направлениях, при этом обрабатываемая вода перед выходом из фильтра соприкасается с наиболее хорошо отрегенированными слоями ионита, благодаря чему обеспечивается более глубокий ионный обмен и повышенное качество умягченной воды. Помимо этого, как выяснилось при изучении противоточного катионирования, этот метод позволяет не

¹ Предложение Ф. Г. Прохорова и К. А. Ячневского.

снижая глубины умягчения воды, значительно снизить расход реагентов (соли, кислоты) на регенерацию катионита, приближаясь к стехиометрическим соотношениям обменяемых катионов. В этом случае, хотя и происходит некоторое снижение емкости поглощения катионита, все же, в конечном итоге, противоток позволяет получить заметный экономический эффект. Промышленное внедрение противоточного метода ионного обмена следует ожидать посл освоения заводами изготовления специальных конструкций противоточных катионитных фильтров.

7-5. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КАТИОНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ

Ваш подробно рассматривались основные элементы конструкций фильтров, которые по условиям работы и их назначению являются в основном одинаковыми как для механических, так и для ионнообменных фильтров. Поэтому, рассматривая ниже основные типы катионитных фильтров, отметим лишь некоторые основные их особенности.

а) Вертикальные катионитные фильтры первой ступени

На рис. 7-5 представлена конструкция вертикальных катионитных фильтров первой ступени, выпускаемых двух видов: натрий-катионитных и водород-катионитных. Последние отличаются тем, что имеют противокоррозионное защитное покрытие внутренней поверхности корпуса и фланцевого трубопровода (перхлорвиниловые лаки, гуммирование), а распределительные устройства и арматура изготавливаются из нержавеющей стали. Верхнее распределительное устройство выполняется в виде звезды из перфорированных труб и предназначается как для воды, так и регенерационного раствора. Фильтры первой ступени изготовляют с нормальной высотой слоя катионита (2,0—2,5 м) и с повышенной высотой слоя 3,0—3,5 м, предназначенных для обработки сильно минерализованных вод.

б) Вертикальные катионитные фильтры второй ступени

Катионитные фильтры второй ступени предназначены для улавливания остатков катионов, «проскочивших» через катионитные фильтры первой ступени, а так-

же для обработки слабо минерализованных вод, в частности конденсатов. Исходя из этого, фильтры рассчитаны на повышенные скорости фильтрования (до 60—80 м/ч), а высота слоя катионита предусматривается пониженной (1,5 м), что позволяет иметь достаточно продолжитель-

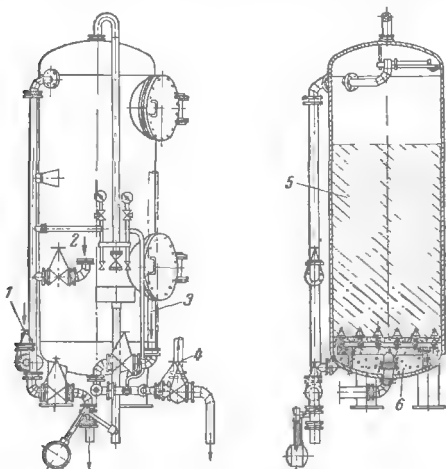


Рис. 7-5. Вертикальный катионитный фильтр первой ступени.

1—подвод обрабатываемой воды; 2—подвод регенерационного раствора; 3—подвод промывной воды; 4—выход обработанной воды; 5—катионит; 6—бетон.

ность рабочего цикла и в то же время уменьшить потерю напора в загрузке. На рис. 7-6 дан разрез¹ вертикального катионитного фильтра второй ступени, выпускаемого так же, как и фильтры первой ступени, двух видов: натрий-катионитные и водород-катионитные.

¹ Фронт этих фильтров аналогичен фронту фильтров первой ступени.

Нижнее распределительное устройство у натрий-катионитных фильтров выполнено в виде ложного днища со щелевыми фарфоровыми колпачками, количество которых (максимально возможное) составляет около 85 шт. на квадратный метр площади фильтрования. Это позволяет иметь незначительную потерю напора в распределительном устройстве даже при повышенных скоростях фильтрования. У водород-катионитных фильтров нижнее

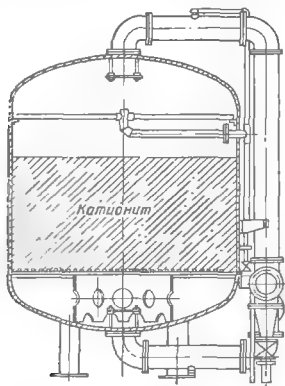


Рис. 7-4. Вертикальный катионитный фильтр второй ступени.

распределительное устройство выполнено в виде трубчатой системы с повышенным количеством щелевых колпачков. Изготовление в этих условиях ложного днища вызывает затруднения в выполнении противокоррозийной защиты междудонного пространства.

Подача воды и регенерационного раствора у фильтров второй ступени осуществляется отдельно из-за значительного различия их секундных расходов. Подача обрабатываемой воды и отвод промывной воды производится по трубопроводу, присоединенному к центру верх-

него днища и снабженному отбойным диском. Регенерационный раствор подается через распределительное устройство типа звезды из перфорированных труб с отверстиями, направленными вниз под углом к вертикали.

в) Горизонтальные катионитные фильтры

На рис. 7-7 представлена конструкция горизонтального катионитного фильтра, предназначенного в качестве фильтра первой ступени для водоподготовительных установок большой производительности. Для второй ступени в этих случаях могут использоваться вертикальные фильтры второй ступени диаметром 3,4 м, которые при скоростях фильтрования 60—80 м/ч могут иметь производительность порядка 500—700 т/ч.

Горизонтальные катионитные фильтры выпускаются двух видов: натрий-катионитные и водород-катионитные, каждый из которых имеет два типоразмера с длиной корпуса 5,5 м (площадь фильтрования 15,0 м²) и 10,0 м (площадь фильтрования 30,0 м²). Верхние распределительные системы этих фильтров выполнены в виде продольных перфорированных труб: одна (верхняя) для воды и другая (нижняя) для регенерационного раствора. Фронт трубопроводов с арматурой и контрольно-измерительными приборами вынесен в торец фильтра.

г) Противоточные катионитные фильтры

В этих фильтрах регенерационный раствор и вода для отмывки катионита направляются, как обычно, сверху вниз, а обрабатываемая вода — снизу вверх. Однако при фильтровании воды снизу вверх со скоростью более 5 м/ч для современных ионообменных материалов, имеющих небольшой удельный вес, неизбежно некоторое перемешивание загрузки и, следовательно, нарушение ее благоприятного расположения, при котором наиболее хорошо отрегенированные слои ионита находятся в верхней части фильтра. Осуществлять же противоточное фильтрование со скоростью менее 5 м/ч было бы не экономично, так как потребовало бы значительно увеличения числа устанавливаемых фильтров. Для устранения этого затруднения предложено осуществление фильтрования воды снизу вверх при гидравлическом зажатом

206

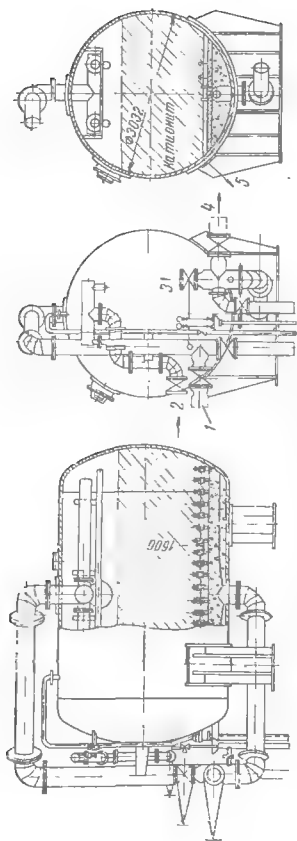


Рис. 7-7. Горизонтальный катионитный фильтр.

1 — подвод обрабатываемой воды; 2 — по под регенерационного раствора; 3 — подает промывной воды; 4 — выход обработанной воды; 5 — штурер для гидрорегузки фильтра.

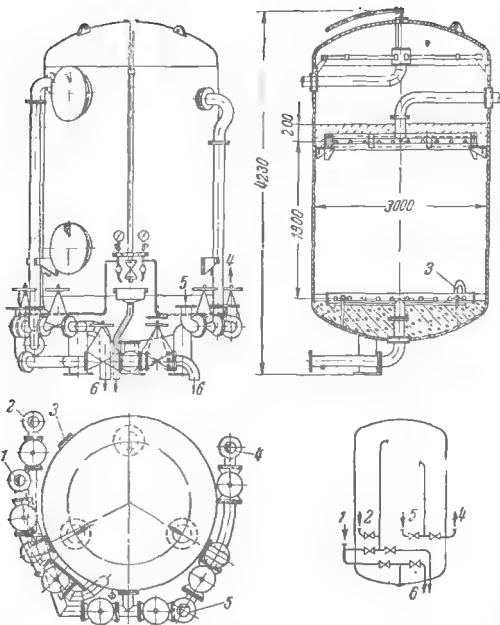


Рис. 7-3. Проточный катионитный фильтр.

1—вход обрабатываемой воды; 2—подвод регенерационного раствора; 3—гидроузлы катионита; 4—выход обработанной воды; 5—подвод промывочной воды; 6—спуск.

слое ионита¹. При этом направляемая снизу вверх обрабатываемая вода отводится из фильтра через распределительное устройство, размещенное в верхнем 200—300-м слое ионита (рис. 7-8). В результате такого гидравлического зажатия материала представляется возможным работать без ограничения скорости фильтрования снизу вверх, не опасаясь расширения при этом загрузки фильтра. Верхнее и нижнее распределительные устройства противоточного фильтра выполнены в виде трубчатых систем из нержавеющей стали со щелями шириной 0,4 мм.

7-6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ КАТИОНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ²

Процесс ионного обмена, осуществляемый в течение рабочего цикла ионитного фильтра, так же как и ионный обмен при регенерации ионита, протекают по существу автоматически, не требуя особого регулирования со стороны эксплуатационного персонала, при этом скорость фильтрования и температура обрабатываемой воды не оказывают в довольно большом интервале заметного влияния на характер протекания этого процесса. Важно, однако, обеспечить основное условие: максимально полный контакт обрабатываемой воды и регенерационного раствора с поверхностью зерен ионита, так как только при наличии этого контакта может происходить процесс ионного обмена. К достижению этого условия и должны быть направлены все операции, выполняемые при обслуживании ионитного фильтра.

Что же касается конструктивного выполнения ионитных фильтров, то здесь, так же как и у механических фильтров, основным элементом являются распределительные устройства фильтра и прежде всего нижнее распределительное устройство. Однако если у механических фильтров нормальная работа этого элемента требуется прежде всего при взрыхляющей промывке загрузки, то у ионитных фильтров значение распределительного устройства проявляется преимущественно в период его

¹ Предложение С. М. Гурвича и Э. С. Крипеца.

² Учитывая наличие ведомственных руководящих указаний и инструкций, подробно регламентирующих условия эксплуатации ионитных фильтров, в этом параграфе автор ограничивается лишь основными указаниями и пояснениями.

рабочего цикла. Выше уже упоминалось о явлении так называемого гидравлического перекоса, который, в конечном итоге, препятствует контакту воды со значительным объемом загруженного в фильтр ионита (рис. 7-8), при этом следует иметь в виду, что неудовлетворительную работу нижнего распределительного устройства могут вызывать в основном следующие обстоятельства:

1) Недостаточно точный расчет распределительного устройства и неудачное конструктивное его оформление. Отсутствие у наших научно-исследовательских организаций и на заводах-изготовителях хорошо оснащенных испытательных стендов не позволяет получить более точные расчетные формулы и найти оптимальные конструктивные решения для распределительных устройств. Эта задача в достаточной мере будет разрешена после организации специализированного производства водоподготовительной аппаратуры.

2) Недоброкачественное изготовление и монтаж распределительных устройств. Котельные заводы, выпускающие в настоящее время водоподготовительное оборудование, не уделяют должного внимания изготовлению распределительных устройств, требующих весьма точного изготовления, сборки и сварки всех деталей этого основного элемента фильтров, резко отличающегося по своей конструкции от обычной котельной продукции. Таким образом, организация специализированного производства водоподготовительной аппаратуры является настоятельной необходимостью. Эксплуатационный персонал при первоначальной приемке фильтров или после их капитального ремонта должен производить тщательную проверку распределительных устройств в соответствии с имеющимися инструкциями, что позволит устранить особо грубые нарушения в изготовлении и монтаже распределительных устройств.

3) Засорение проходных сечений распределительных устройств (отверстий, пор, щелей) мелкими частицами ионообменного материала. Это обстоятельство обычно приводит к повышенному сопротивлению ионитного фильтра и поэтому может быть относительно легко обнаружено обслуживающим персоналом. Засорение распределительного устройства приводит, в конечном итоге, к необходимости разгрузки фильтра,

к промывке и чистке распределительного устройства иногда с разборкой и сборкой его деталей.

Характеристика зернистости и однородности ионообменных материалов оказывает влияние на равномерность распределения потоков воды и растворов реагентов в ионитном фильтре и на достаточно полный контакт их с зернами ионообменного материала. Помимо наличия пылевидных частиц в товарной продукции ионообменных материалов, удаляемых обычно при первоначальных промывках во время пуска и наладки ионитных фильтров, при эксплуатации фильтров всегда происходит в той или иной степени образование в толще загрузки продуктов постепенного разрушения и измельчения ионитов, которые необходимо периодически удалять. Достигается это при взрыхляющих промывках ионита, являющихся обязательной операцией, предшествующей их регенерации.

Очень важно соблюдение по инструкции надлежащих условий проведения взрыхляющих промывок, обеспечивающих возможно полное удаление из фильтра мелких, пылевидных частиц ионообменных материалов. Неудовлетворительное проведение таких промывок приводит к тому, что эти пылевидные частицы, скапливаясь в верхней части загрузки, образуют своеобразную грязевую пленку, создающую дополнительное сопротивление проходу обрабатываемой воды, регенерационного раствора и промывной воды. В результате появления дополнительного сопротивления усиливается влияние так называемого «пристенного» эффекта, заключающегося в том, что расход воды вдоль стенок корпуса фильтра всегда несколько превышает расход ее через зернистую загрузку. При механическом фильтровании воды это явление в значительной мере гасится способностью механических фильтров к саморегулированию (см. главу 6), чего нет у ионообменных фильтров, получающих для обработки осветленную воду, практически не содержащую взвешенных веществ. Конечным результатом нарушения равномерности фильтрования являются различные гидравлические перекосы в загрузке фильтра, неудовлетворительно отражающиеся на его эксплуатации (см. 7-3). Гидравлические перекосы вредны также и при проведении регенерации ионообменного материала, так как в результате пропуска регенерационного раствора

последний не омывает некоторые части загрузки, оставляя их в истощенном состоянии. При отмывке ионита перекосы вызывают повышенный расход воды для удаления продуктов регенерации и остатков непрореагировавшего регенерационного раствора.

Помимо необходимости удаления пылевидных частиц ионита, взрыхляющая промывка устраняет также слеживание материала, при котором частицы его имеют наиболее плотную укладку, затрудняющую контакт с ними регенерационного раствора. Кроме того, в течение рабочего цикла фильтра отдельные струйки воды, просачиваясь через пористую среду, образуемую зернами ионообменного материала, могут образовывать криволинейные постоянные пути — своеобразные микрорусла, называемые иногда излюбленными путями фильтрации. Взрыхляющая промывка ионита разрушает эти пути фильтрации, облегчая тем самым достижение более плотного контакта ионита с регенерационным раствором и с обрабатываемой водой.

Для успешного выполнения регенерации ионообменного материала, кроме обеспечения максимально полного контакта раствора с частицами ионита, необходимо обеспечить протекание ионного обмена в нужном направлении, что зависит прежде всего от концентрации реагента в регенерационном растворе. Как уже указывалось, по мере прохождения регенерационного раствора через истощенный ионит он все в большей степени загрязняется удаляемыми из молекул ионита «вредными» ионами, что приводит к торможению процесса регенерации ионита. Этот вредный процесс своеобразного «отравления» регенерационного раствора можно в значительной степени ослабить, пропуская через истощенный ионит регенерационный раствор с переменной концентрацией реагента, не увеличивая при этом его средний удельный расход. Для этого пропускают сначала первую порцию относительно мало концентрированного регенерационного раствора, в результате чего происходит лишь частичное вытеснение из истощенных молекул ионита вредных катионов. Затем пропускают вторую порцию регенерационного раствора повышенной концентрации, которая заканчивает процесс регенерации в более благоприятных условиях, поскольку некоторая часть вредных катионов была удалена вначале.

Проведение такой двухступенчатой регенерации позволяет осуществлять более глубокий обратный ионный обмен, извлекая из ионной атмосферы истощенных молекул ионита в более полной степени вредные ионы. Это обстоятельство особенно полезно при водород-катионировании, так как при одноступенчатой регенерации раствором серной кислоты ее концентрация, как показывает опыт, не должна превышать 1,5—2,0% из опасения получения в регенерационном растворе чрезмерно высоких концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} , могущих привести к образованию насыщенного раствора гипса CaSO_4 и выпадению его на поверхности зерен катионита. Это так называемое загипсовывание катионита может привести к резкому снижению емкости поглощения фильтра и к последующему вымыванию кальция с неизбежным повышением остаточной жесткости умягченной воды. Двухступенчатая регенерация водород-катионита полностью устраняет эти затруднения, так как пропуск через истощенный Н-катионит первой порции слабого (0,3—0,5%) раствора серной кислоты, удаляя из катионита часть ионов кальция, позволяет затем без опасения загипсовывания катионита пропускать через него вторую порцию серной кислоты с концентрацией 3—5%, повышая тем самым глубину регенерации.

Последняя операция регенерационного цикла ионитов имеет целью путем промывки удалить из него продукты регенерации, а также остатки непрореагировавшего регенерационного раствора. Некоторую, хотя и незначительную часть этих веществ, проникшую при регенерации в глубь пористой структуры ионообменных материалов, практически не удастся удалить при промывке, вследствие медленного протекания процессов диффузии их из пор ионита в промывную воду. Удлинять же операцию промывки ионита экономически нецелесообразно, так как это приводит к чрезмерному увеличению расхода воды на собственные нужды водочодготовительной установки и увеличивает время простоя фильтра на регенерации. При последующем проведении рабочего цикла эти оставшиеся в порах ионита вещества имеют достаточное время для постепенного диффундирования в обрабатываемую воду, что ведет к ухудшению ее качества. Поскольку количество проникающих таким образом примесей в обрабатываемую воду является весьма

незначительным, оно практически мало сказывается на качестве природных вод. Однако при обработке слабо-минерализованных вод типа конденсатов даже эти незначительные количества продуктов регенерации, диффундирующие из пор ионитов, становятся уже относительно ощутительным добавком, препятствующим достаточно глубокому их обессоливанию.

Отличительной особенностью синтетических ионитов является способность к набуханию их в воде и к сжатию под действием регенерационных растворов, что необходимо учитывать при первоначальной загрузке ионитных фильтров и их дальнейшей эксплуатации.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ОБЕССОЛИВАНИЕ ВОДЫ

8-1. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Допустимое солесодержание питательной воды современных паровых котлов барабанного типа определяется (см. гл. 3) допустимым максимальным солесодержанием котловой воды, при котором котел обеспечивает выдачу требуемого качества пара. При этом допустимое солесодержание химически обработанной воды, являющейся частью питательной воды (остальная часть — турбинный и производственный конденсаты), зависит в свою очередь от размера добавка этой воды. Так, например, на электростанциях конденсационного типа, вырабатывающих только электрическую энергию, имеют место лишь незначительные внутростанционные потери пара и конденсата и поэтому возмещающая эти потери химически обработанная вода может содержать в себе относительно большое количество растворенных солей.

По иному обстоит дело на электростанциях теплофикационного типа, вырабатывающих, помимо электрической, тепловую энергию, поскольку здесь потери пара и конденсата могут достигать значительных размеров. В этом случае добавляемая в питательную воду химически обработанная вода должна быть во много раз менее минерализованной, чем на конденсационных электростанциях.

Еще более чувствительны к солесодержанию питательной воды барабанные котлы сверхвысокого давления, когда пар приобретает значительную способность к растворению различных солей и, следовательно, становится необходимым сводить к минимуму их содержание в котловой воде. В этих случаях нередко возникает надобность в глубоком обессоливании добавляемой в питательную воду химически обработанной воды.

Наконец, для прямоточных котлов солесодержание питательной воды должно быть минимальным, равноценным высококачественному дистилляту¹, поскольку практически большая часть солей попадает в пар, идущий на турбину.

Возникает также необходимость глубокого обессоливания турбинного конденсата в случаях неудовлетворительной плотности конденсаторов турбин на электростанциях высокого и сверхвысокого давлений.

В настоящее время получили практическое применение два способа полного обессоливания воды: 1) термический и 2) химический.

8-2. ТЕРМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ ВОДЫ

Этот способ, уже давно применяемый на электростанциях, заключается в нагревании воды до кипения и последующей конденсации получаемого при этом пара. Осуществляют этот способ в аппаратах, называемых испарителями, причем получили распространение преимущественно паровые испарители, представляющие собой по существу паровые котлы, в которых в отличие от обычных котлов нагревание воды осуществляется не горячими дымовыми газами, а с помощью пара. При этом давление в испарителях обычно не превышает 5—6 кг/см².

Применяют также газовые испарители, где нагревание воды осуществляется за счет использования тепла отходящих дымовых газов от обычных котлов.

Схематическое изображение парового испарителя представлено на рис. 8-1. Как видно из этого рисунка,

¹ Продукт перегонки воды путем ее испарения и последующей конденсации пара, содержащий минимальное количество растворенных веществ (от латинского слова — дистиллато, означающего — стекание каплями).

в нижней части корпуса испарителя, заполняемого испаряемой водой, вмонтирована нагревательная трубчатая система 4, в которую подается греющий пар, называемый в этих случаях первичным паром. Отдав свое тепло нагреваемой воде, первичный пар отводится в сборник 7. Полученный в результате кипячения воды в испарителе так называемый вторичный пар направляют

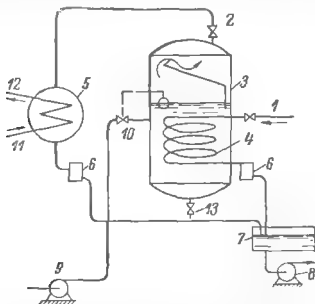


Рис. 8-1. Схема испарителя.

1 — подвод первичного пара; 2 — отвод вторичного пара; 3 — корпус испарителя; 4 — нагревательная система; 5 — поверхностный охладитель (конденсатор); 6 — конденсатоотводчик; 7 — сборник дистиллята; 8 — насос для перекачки дистиллята; 9 — насос питающей воды; 10 — регулятор уровня; 11 — подвод охлаждающей воды; 12 — отвод охлаждающей воды; 13 — продувка испарителя.

в поверхностный охладитель 5, где за счет протекающей по трубкам охлаждающей воды вторичный пар конденсируется и полученный таким образом дистиллят поступает в тот же сборник 7.

Испарители, в которых вторичный пар конденсируется, а направляется непосредственно к различным потребителям, называют паропреобразователями. Такие испарители обычно работают с давлением пара 8—12 атм и выше и устанавливают в случаях больших и безвзвратной отдачи пара на производство.

Испарители, так же как и котлы, требуют для питания умягченной воды во избежание накипеобразования на поверхностях нагрева и снижения вследствие этого их

производительности. Для получения высшего качества вторичного пара в испарителях путем продувки поддерживают определенные нормы качества испаряемой воды (по соледержанию и щелочности), а также предусматривают в паровом пространстве корпуса испарителя сепарационные устройства для отделения уносимых вторичным паром капелек воды.

8.3. ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ ВОДЫ

Частичное химическое обессоливание воды достигается при известковании и водород-катионировании (см. гл. 5 и 7). Полное химическое обессоливание воды, т. е. удаление из нее практически почти всех растворенных солей, достигается путем применения метода ионного обмена. Осуществление глубокого химического обессоливания воды стало возможным после освоения химической промышленностью синтетических ионообменных материалов, способных не только к катионному обмену (катионитов), но и к обмену анионов (анкионитов).

Подлежащую обессоливанию воду пропускают последовательно через две группы фильтров. В одну из этих групп фильтров загружают Н-катионит, регенерированный кислотой и содержащий, следовательно, обменный катион водорода. В другую группу фильтров загружают анионит, регенерированный едким натром (NaOH) и содержащим, следовательно, в себе обменный анион гидроксила, т. е. являющийся ОН-анионитом.

В природных водах в результате электролитической диссоциации все растворенные в ней соли распадутся на катионы (в основном кальций Ca^{2+} , магний Mg^{2+} и натрий Na^+) и анионы (в основном HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} и SiO_3^{2-}).

При прохождении такой воды через Н-катионитные фильтры она обменивает все свои катионы на катион водорода H^+ , который при этом частично взаимодействует с анионом HCO_3^- , образуя угольную кислоту и воду. Далее Н-катионированная вода, содержащая катион водорода и все анионы (кроме нейтрализованного водородом аниона HCO_3^-), поступает в ОН-анионитные фильтры, где эти анионы заменяются на анион OH^- , который тут же вступает в химическое взаимодействие с присутствующи-

ми в воде катионами H^+ , образуя воду H_2O . Таким образом, анион OH^- выводится из сферы взаимодействия, что устраняет торможение анионного обмена и протекание его в обратном направлении, как это имеет место при катионном обмене (см. выше).

Представим этот процесс химического обессоливания воды в виде условных уравнений, как это было сделано при рассмотрении натрий-катионирования. Обозначим

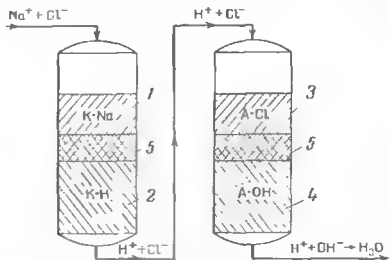
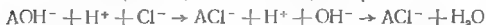


Рис. 8-2. Схема химического обессоливания раствора хлористого натрия.

1 — зона истощенного катионита; 2 — зона свежего катионита; 3 — зона истощенного анионита; 4 — зона свежего анионита; 5 — зона полного обмена.

для этого сложный нерастворимый комплекс молекулы катионита буквой К, а соответственно у анионита — буквой А. Для простоты изложения допустим, что исходная вода содержит только одну соль, например хлористый натрий, распадающийся на катионы натрия Na^+ и анионы хлора Cl^- . Тогда последовательное фильтрование этой воды через Н-катионит и ОН-анионит можно изобразить следующими двумя уравнениями:



или изобразить в виде схемы, как это выполнено на рис. 8-2.

На этом рисунке представлен схематически рабочий цикл химического обессоливания раствора хлористого

натрия. В обоих фильтрах, Н-катионитном и ОН-анионитном, изображены три зоны состояния ионообменного материала: 1) зона истощенного материала, у Н-катионита он превратился в Na-катионит, у ОН-анионита в Cl-анионит; 2) зона полезного обмена, где молекулы Н-катионита содержат в своей ионной атмосфере как катионы водорода, так и катионы натрия, а молекулы ОН-анионита соответственно анионы гидроксила и хлора, и 3) зона свежих катионита и анионита.

Эта простая схема химического обессоливания воды обычно на практике претерпевает значительные осложнения, вызываемые стремлением обеспечить надежное получение обработанной воды высокого качества, что особенно важно в случаях приготовления ее для электростанций сверхвысокого и сверхкритического давлений. Поэтому возникает необходимость предусматривать двухступенчатое и даже трехступенчатое ионирование. Кроме того, для достаточно полного удаления из воды иона кремниевой кислоты SiO_2^{2-} приходится устанавливать фильтры, загружаемые специальными марками высокоосиовных анионитов, способных к поглощению анионов таких слабых кислот, как кремниевая и угольная, в то время как для поглощения анионов сильных кислот (Cl^- , SO_4^{2-}) используются марки слабоосиовных анионитов.

Современные установки глубокого химического обессоливания природной воды позволяют получать обработанную воду с содержанием порядка 0,05 мг/л и менее, т. е. в обессоленной воде пять весовых частей растворенных солей приходится на 100 000 000 весовых частей воды. Таким образом, получение химически обессоленной воды является производством продукции с весьма высокой степенью чистоты.

Наиболее трудным с технической точки зрения является глубокое обессоливание слабо минерализованных вод типа конденсатов. Выше (см. 7-6) уже упоминалось о том, что не удаленные при промывке ионитов остатки регенерационного раствора могут затем постепенно проникать в обрабатываемую воду. Это явление имеет место и в ОН-анионите, в результате чего в обессоленный конденсат попадают остатки не прореагировавшей и не удаленной при промывке щелочи. Кроме того, выпускаемые промышленностью аниониты содержат, хотя и в незначительном количестве, активные группы с обменными катионами, которые при регенерации анионита едким натром поглощают катион натрия, отдавая его затем взамен катиона

В настоящее время радикальным способом глубокого обессоливания конденсата является флотация с использованием специального материала, представляющий собой смесь из Н-катионита и ОН-анионита. Пропускание воды через такой материал является по

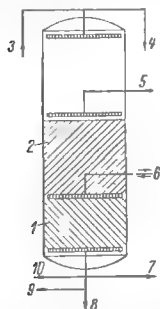


Рис. 8-1. Схема фильтра смешанного действия.

1 — катионит; 2 — анионит; 3 — подвод обрабатываемой воды; 4 — отвод промывной воды; 5 — подвод регенерационного раствора щелочи; 6 — подвод регенерационного раствора кислоты и отвод отработанного раствора щелочи и промывной воды; 7 — отвод отработанного раствора кислоты и отвод промывной воды и опорожнение фильтра; 8 — подвод сжатого воздуха; 9 — подвод промывной воды; 10 — подвод промывной воды.

подвода воды для всплывающей грунтовой и подачи сжатого воздуха для перемешивания. После окончания рабочего цикла осуществляют взрыхляющую промывку загрузки снизу вверх, при этом в тех же целях применяют специально градуированные ионнообменные материалы в виде лежащих в их заделах в шахматном порядке гидравлическая сортировка и разделение слоев на два слоя: верхний — анионит и нижний катионит, подвергающиеся после этого раздельной регенерации.

Фильтры смешанного действия получили в последние годы практическое применение за рубежом. Применение в них таких фильтров задерживается из-за отсутствия отечественного производства специальных ионитов, необходимых при такой схеме их использования.

На первый взгляд поражает необходимость столь глубокого обессоливания питательной воды для современных паровых котлов. Однако следует учитывать, что пар сверхвысокого и закритического давлений обладает способностью растворять в себе соли, а при этих параметрах в настоящее время начинают получать преимущественное применение прямоточные котлы, качество пара которых почти не отличается от качества поступающей в них питательной воды. И, наконец, даже незначительные, но неравномерные солевые отложения (порядка 5—10 кг) в современных мощных паровых турбинах заставляют снижать их нагрузку. Если взять паровую турбину мощностью 200 000 кВт, потребляющую около 600 т/ч пара, и если допустить, что при солесодержании этого пара в 0,05 мг/кг будет отлагаться на лопаточном аппарате турбины пятая часть этих солей, т. е. 0,01 мг/кг, то и в этом случае через 3 мес. работы количество солевых отложений в турбине достигло бы 13 кг.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ДЕГАЗАЦИЯ ВОДЫ

Заключительной стадией технологического процесса приготовления питательной воды для паровых котлов является удаление растворенных в ней агрессивных газов, в первую очередь кислорода, а также углекислоты, являющихся основным фактором, вызывающим коррозию металла теплосиловых установок.

Кислородная коррозия является наиболее опасной, так как она проявляется на отдельных участках поверхности металла в виде небольших язвин и развивается быстро в глубину металла вплоть до образования сквозных свищей. Поэтому даже самая незначительная концентрация растворенного в питательной воде кислорода, учитывая огромные паропроизводительности современных паровых котлов, может быть причиной нарушения их нормальной работы и выхода из строя отдельных элементов котла, из которых в первую очередь обычно подвергается такой коррозии водяной экономайзер, с которого начинается путь питательной воды в паровых котлах.

Таким образом, для обеспечения надежной эксплуатации современных паровых котлов необходимо стремиться к практически полному отсутствию в питательной воде растворенного кислорода и поэтому существующие нормы предельного содержания растворенного кислорода в питательной воде определяются по существу, исходя из предельных возможностей существующих методов анализа качества воды.

Столь глубокое удаление из воды растворенного в ней кислорода достигается на современных мощных электростанциях высокого и сверхвысокого давлений в две ступени. Сначала питательную воду подвергают термической дегазации, сущность которой заключается в доведении воды до температуры кипения, при которой в создаваемой над водой атмосфере водяных паров парциальное давление удаляемых газов приближается к нулю (см. гл. I), а затем, для удаления остатков кислорода применяют так называемое химическое обескислороживание воды путем присадки в нее реагентов, вступающих во взаимодействие с растворенным в воде кислородом.

Термическая дегазация осуществляется на электрических станциях в специальных аппаратах - дегазаторах, или, как их чаще называют, деаэраторах¹. Схема одного из наиболее распространенных атмосферных деаэраторов смешивающего типа представлена на рис. 9-1. Как видно из этого рисунка, собственно деаэрационным устройством является колонка 1, а бак 2, на котором она укреплена, служит лишь для сбора деаэрированной воды.

В деаэрационной колонке расположены дырчатые тарелки, по которым стекает вниз тонкими струйками питательная вода, а навстречу ей подается греющий пар. Выделяющиеся при этом растворенные в воде газы (кислород, азот, углекислота) и часть несконденсировавшихся паров воды поступают в охладитель, где пары воды конденсируются, а газы удаляются в атмосферу.

Растворимость газов в воде зависит от их давления в пространстве над водой, поскольку при этом устанавли-

¹ Т. е. удалителей растворенного в воде воздуха (по гречески аэр означает воздух).

вадается динамическое равновесие двух противоположных друг другу процессов: проникновение молекул газов в воду, т. е. растворение газа, и обратный процесс выхода молекул газа из воды. При термической деаэрации это динамическое равновесие нарушается благодаря появлению над водой ее паров, которые тем самым снижают парциальное давление всех остальных газов. В результате начинается бурное выделение из воды молекул

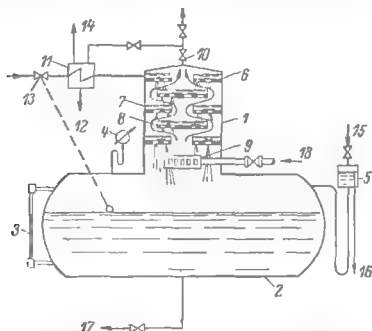


Рис. 9-1. Схема атмосферного деаэрата смешивающего типа.

1—деаэрационная колонка; 2—сборный бак деаэрированной воды; 3—водочерпное стекло; 4—манометр; 5—гидравлический затвор; 6—распределительное устройство; 7 и 8—дырчатые тарелки; 9—распределение пара; 10—отвод выпара; 11—охладитель выпара; 12—отвод скопировавшихся паров воды; 13—подвод питательной воды; 14—выход несконденсировавшихся газов; 15—заполнение гидрозатвора; 16—перевод гидрозатвора; 17—выход деаэрированной воды; 18—подвод греющего пара.

растворенных в ней газов, при этом молекулам приходится преодолевать силы притяжения (сорбцию) их к молекулам воды. Для ускорения этого процесса, называемого десорбцией, необходимо по возможности иметь наибольшую свободную поверхность деаэрируемой воды. Поэтому в деаэраторах производится разбрызгивание и распыление воды на тончайшие пленки. Несмотря на это, некоторая часть молекул растворенных в воде газов не успевает десорбироваться и попадает в сборный бак деаэрата.

Другим важным условием удовлетворительной работы деаэрационной колонки является максимально полное и быстрое удаление из нее выделившихся из воды газов, так как в противном случае из-за повышения их парциального давления будет ухудшен процесс деаэрации.

В этих целях предусматривается непрерывный отвод из деаэрационной колонки так называемого выпара (смеси выделившихся газов и части несконденсировавшихся паров воды). Тем не менее некоторая часть выделившихся из воды газовых молекул все-таки попадает в сборный бак деаэратора.

Таким образом, даже при самых оптимальных условиях работы термического деаэратора остаточное содержание растворенного кислорода в выходящей из сборного бака деаэрированной воде удастся довести до величины не ниже 0,02—0,03 мг/л.

Для удаления остатков растворенного кислорода, а также для связывания кислорода, могущего проникнуть ниже в питательную воду по пути ее движения от деаэратора до котла через неплотности трубопроводов, на электростанциях высокого и сверхвысокого давлений применяют химическое обескислороживание воды. При этом во избежание увеличения солевого содержания питательной воды в результате ее дополнительной обработки применяют такие реагенты, которые при взаимодействии с растворенным в воде кислородом дают только неагрессивные газообразные продукты. К такого рода реагентам относятся различные органические соединения, из которых в настоящее время наибольшее распространение получил гидразин N_2H_4 , дающий при взаимодействии с кислородом азот и воду:



Гидразин и его растворы ядовиты и поэтому при работе с ними должны соблюдаться соответствующие правила техники безопасности.

Для химического связывания растворенного в воде кислорода применяют также сульфит натрия, который в результате окисления образует сульфат натрия



Н недостатком сульфитирования является увеличение содержания питательной воды. Кроме того, при давлении выше 60 атм сульфид натрия разлагается, образуя токсичные вещества, понижающие величину рН воды настолько, что ограничивается применение сульфитирования электролитами низкого и среднего давления.

К химическому обескислороживанию воды относится также метод пропускания воды через фильтры, загруженные стружками обычной или кованой стали¹. В таком фильтре протекает процесс восстановления железа за счет связывания растворенного в воде кислорода по реакции:



Стальные стружечные фильтры применяют для улавливания продуктов окисления в качестве аэратора на электростанциях низкого и среднего давления, а также в качестве основного обескислороживающего устройства в промышленных котельных.

За последние годы получили применение метод так называемого деаэрации или деаэрирования воды², заключающегося в контактировании воды с газом, лишенным кислорода. В этом случае парциальное давление кислорода над поверхностью воды близко к нулю и растворимость кислорода в воде снижается (см. гл. I). Этот метод позволяет обескислороживать воду при относительно низкой температуре и не требует применения его удобным для промышленных котельных.

Для предупреждения ускоренной коррозии на отечественных электростанциях применяют преимущественно аммиачную обработку воды путем дзирвания раствора аммиака или солей аммония, которые углубляют катодные процессы, повышая рН воды. Побочным действием этого приводит к торможению водородной деполяризации катодных участков корродируемого металла:



Подобная аммиачная обработка воды является возможным методом аммиачной коррозии цветных металлов и сплавов, происходящей в присутствии кислорода.

За последние годы все успешнее применяют различные органические вещества в качестве замедлителей углекислотной коррозии. К ним относятся морфолин, ди- и октадециламин, кинолин, пиридин и др. Действие морфолина аналогично аммиаку, однако в отличие от последнего морфолин не может ни при каких условиях вызывать коррозию цветных металлов. Ди- и октадециламины применяют в виде эмульсий или суспензий. Молекулы этих веществ адсорбируются на поверхности корродируемого металла, образуя мономолекулярный защитный слой, защищающий металл от коррозионного действия как углекислоты, так и кислорода.

¹ Предложен А. П. Маметом.

² Предложено П. А. Лапозинским и В. В. Глушечко.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

период	ряд	группы					
		I	II	III	IV	V	VI
1	I	H ¹ Водород 1,0080					
2	II	Li ³ Литий 6,940	Be ⁴ Бериллий 9,013	B ⁵ Бор 10,82	C ⁶ Углерод 12,011	N ⁷ Азот 14,008	O ⁸ Кислород 16,000
3	III	Na ¹¹ Натрий 22,991	Mg ¹² Магний 24,3	Al ¹³ Алюминий 26,98	Si ¹⁴ Кремний 28,09	P ¹⁵ Фосфор 30,97	S ¹⁶ Сера 32,07
4	IV	K ¹⁹ Калий 39,100	Ca ²⁰ Кальций 40,08	Sc ²¹ Скандий 44,96	Ti ²² Титан 47,88	V ²³ Ванадий 50,95	Cr ²⁴ Хром 52,00
	V	Cu ²⁹ Медь 63,54	Zn ³⁰ Цинк 65,38	Ga ³¹ Галлий 69,72	Ge ³² Германий 72,60	As ³³ Мышьяк 74,91	Se ³⁴ Селен 78,96
5	VI	Rb ³⁷ Рубидий 85,48	Sr ³⁸ Стронций 87,63	Y ³⁹ Иттрий 88,92	Zr ⁴⁰ Цирконий 91,22	Nb ⁴¹ Ниобий 92,91	Mo ⁴² Молибден 95,95
	VII	Ag ⁴⁷ Серебро 107,880	Cd ⁴⁸ Кадмий 112,41	In ⁴⁹ Индий 114,76	Sn ⁵⁰ Олово 118,70	Sb ⁵¹ Сурьма 121,76	Te ⁵² Теллур 127,01
6	VIII	Cs ⁵⁵ Цезий 132,91	Ba ⁵⁶ Барий 137,36	La ^{57*} Лантан 138,92	Hf ⁷² Гафний 178,6	Ta ⁷³ Тантал 180,85	W ⁷⁴ Вольфрам 183,92
	IX	Au ⁷⁹ Золото 197,0	Hg ⁸⁰ Ртуть 200,61	Tl ⁸¹ Таллий 204,39	Pb ⁸² Свинец 207,21	Bi ⁸³ Висмут 209,00	Po ⁸⁴ Полоний 210
7	X	Fr ⁸⁷ Франций (223)	Ra ⁸⁸ Радий 226,05	Ac ^{89***} Актиний 227	(Th)	(Pa)	(U)

* ЛАНТА

Ce ⁵⁸ Церий 140,13	Pr ⁵⁹ Прометий 140,92	Nd ⁶⁰ Неодим 144,27	Pm ⁶¹ Прометий 145	Sm ⁶² Самарий 150,43	Eu ⁶³ Европий 152,0	Gd ⁶⁴ Гадолиний 157,9	Tb ⁶⁵ Тербий 158,93
--	---	---	--	--	---	---	---

** АКТИН

Th ⁹⁰ Торий 232,05	Pa ⁹¹ Протактиний 231	U ⁹² Уран 238,03	Np ⁹³ Нептуний 237	Pu ⁹⁴ Плутоний 244	Am ⁹⁵ Америций 243	Cm ⁹⁶ Курчиум 247	Bk ⁹⁷ Берклий 247
--	---	--	--	--	--	---	---

ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

ЭЛЕМЕНТОВ				
VII		VIII		0
(II)				He ² Гелий 4,003
9 I Фтор 19,00				Ne ¹⁰ Неон 20,183
17 Cl Хлор 35,457				Ar ¹⁸ Аргон 39,944
Mn ²⁵ Марганец 54,94	Fe ²⁶ Железо 55,85	Co ²⁷ Кобальт 58,94	Ni ²⁸ Никель 58,69	
36 Br Бром 79,916				Kr ³⁶ Криптон 83,60
Tc ⁴³ Технеций [99]	Ru ⁴⁴ Рутений 101,1	Rh ⁴⁵ Родий 102,91	Pd ⁴⁶ Палладий 106,7	
53 J Йод 126,91				Xe ⁵⁴ Ксенон 131,3
Re ⁷⁵ Рений 186,31	Os ⁷⁶ Осмий 190,2	Ir ⁷⁷ Иридий 192,2	Pt ⁷⁸ Платина 195,23	
85 At Астатин [210]				Rn ⁸⁶ Радон 222

ЭЛЕМЕНТЫ 38-71

Dy ⁶⁶ Диспрозий 162,50	Ho ⁶⁷ Гольмий 164,94	Er ⁶⁸ Эрбий 167,26	Tm ⁶⁹ Туллий 168,93	Yb ⁷⁰ Иттербий 173,04	Lu ⁷¹ Лютеций 174,99
---	---------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	--	---------------------------------------

ЭЛЕМЕНТЫ

Cf ⁹⁸ Калифорний [249]	Es ⁹⁹ Эйнштейний [253]	Fm ¹⁰⁰ Фермий [255]	Mv ¹⁰¹ Менделеевский [256]	
---	---	--------------------------------------	---	--

VII		VIII		0		
1	2	3	4	5	6	7
2						
2	8					
2	8	8				
2	8	18	6			
2	8	18	18	8		
2	8	18	18	8		
2	8	18	32	18	8	

Легколетучий элемент

Легколетучий элемент

17 Cl

35,457

Хлор

Атомный вес

ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

10-1. СХЕМЫ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

В предыдущих главах мы познакомились с назначением воды, идущей для питания паровых котлов, и предъявляемыми к ней требованиями, а также узнали, каким процессам обработки подвергается сырая вода для удовлетворения этих требований и в каких аппаратах эти процессы осуществляются. Теперь следует хотя бы кратко рассмотреть водоподготовительные установки в целом и прежде всего наиболее употребительные схемы этих установок.

В каждом конкретном случае на основе данных о качестве сырой воды и требований, предъявляемых потребителями к качеству химически обработанной воды, определяют необходимые для удовлетворения этих требований изменения в ее составе, после чего намечаются наиболее целесообразные пути для осуществления этих изменений, т. е. определяется технологическая схема обработки сырой воды и производится выбор оборудования проектируемой водоподготовительной установки. Если осуществление необходимых изменений в составе обрабатываемой воды возможно по различным технологическим схемам, то выбор одной из них делают на основе сравнительных технико-экономических расчетов по намеченным вариантам схем.

В результате химической обработки природных вод, осуществляемой на водоподготовительных установках электростанций, могут происходить следующие основные изменения их состава: 1) осветление воды; 2) умягчение воды; 3) снижение щелочности воды; 4) уменьшение соленосодержания воды; 5) полное обессоливание воды; 6) дегазация воды. Технологические схемы обработки воды, необходимые для осуществления перечисленных изменений ее состава, могут включать различные процессы, которые своятся к следующим трем основным группам: 1) методы осаждения; 2) механическое фильтрование воды; 3) ионообменное фильтрование воды.

Применяемые на электростанциях технологические схемы водоподготовительных установок предусматривают обычно комбинирование различных методов обработки воды. На рис. 10-1 представлены возможные схе-

мы комбинированных водоподготовительных установок путем применения указанных трех категорий процессов обработки воды. В этих схемах для упрощения даны только основные аппараты, без вспомогательного оборудования (ревентное хозяйство и пр.), а также не указаны фильтры второй и третьей ступеней.

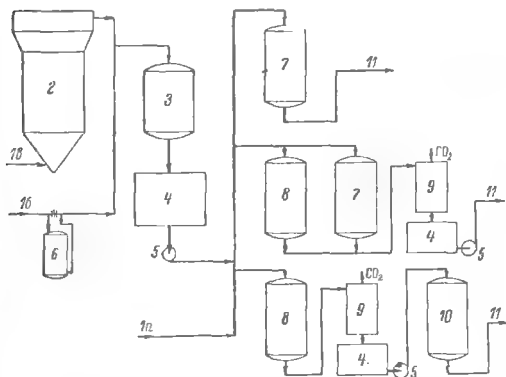


Рис. 10-1. Схемы водоподготовительных установок.

1—сырая вода; 2—осветлитель; 3—механический фильтр; 4—промежуточный бак; 5—насос; 6—дозатор коагулянта; 7—Na-катионитный фильтр; 8—H-катионитный фильтр; 9—декарбонизатор; 10—OH-анионитный фильтр; 11—обработанная вода.

Ионообменное фильтрование является обязательной конечной стадией обработки воды при всех возможных вариантах схем и осуществляется в виде Na-катионирования, H-Na-катионирования и H-OH-понижения воды. Осветлитель 2 предусматривает два основных варианта его использования: 1) осветление воды, когда в нем осуществляются процессы коагуляции и отстаивания воды и 2) смягчение воды, когда, помимо коагуляции, в нем проводят известкование, а также одновременно с известкованием магnezияльное обескремнивание воды.

В зависимости от характеристики природных вод по содержанию в них взвешенных веществ возможны три группы технологических схем их обработки:

1) Подземные, артезианские воды (на рис. 10-1 они обозначены 1а), в которых практически обычно отсутствуют взвешенные вещества, не требуют их осветления и поэтому обработка таких вод может ограничиваться только ионообменным фильтрованием по одной из трех схем в зависимости от предъявляемых требований к обработанной воде: а) Na-катионирование, если требуется только умягчение воды; б) H-Na-катионирование, если требуется, помимо умягчения, снижение щелочности или уменьшение солесодержания воды; в) H-ОН-ионирование, если требуется глубокое обессоливание воды.

2) Поверхностные воды с незначительным содержанием взвешенных веществ (на рис. 10-1 они обозначены 1б) могут обрабатываться по так называемым прямоточным напорным схемам, в которых коагуляция и осветление в механических фильтрах комбинируют с одной из схем ионообменного фильтрования.

3) Поверхностные воды с относительно большим количеством взвешенных веществ (на рис. 10-1 они обозначены 1в) освобождаются от них в осветлителе, после чего подвергаются механическому фильтрованию и далее комбинируются с одной из схем ионообменного фильтрования. При этом часто, в целях разгрузки ионообменной части водоподготовительной установки, одновременно с коагуляцией осуществляют в осветлителе частичное умягчение воды и снижение ее солесодержания путем известкования и магниезиального обескремнивания. Такие комбинированные схемы особенно целесообразны при обработке сильно минерализованных вод, поскольку даже при частичном их обессоливании методом ионного обмена требуются большие капитальные затраты вследствие высокой стоимости ионообменных смол.

10-2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Несмотря на то что водоподготовительные установки на современных электростанциях включают в себя многочисленную и разнообразную аппаратуру, размещаемую обычно в отдельном здании, они для своего обслужива-

ния требуют незначительное количество эксплуатационного персонала. Типовые водоподготовительные установки электростанций производительностью 200—300 т/ч и выше обычно обслуживают два-три работника в смену. Такое положение объясняется следующими обстоятельствами:

1) Почти все технологические процессы обработки воды на этих установках заключаются в химическом взаимодействии ее с различными реагентами и материалами. После того как обрабатываемая вода и реагенты приведены в соприкосновение, процессы химического взаимодействия между ними протекают по существу автоматически, не требуя какого-либо воздействия на условия их протекания со стороны обслуживающего персонала.

2) Дозирование реагентов на современных водоподготовительных установках осуществляется с помощью пропорциональных дозаторов, автоматически поддерживающих заданную дозу реагента, независимо от колебаний расхода обрабатываемой воды. Что же касается изменений заданной дозы реагента в соответствии с изменением качества сырой воды, то такого рода изменения требуются относительно редко и поэтому осуществление их не является обременительным для обслуживающего персонала.

3) Поддержание температуры обрабатываемой воды в определенных пределах обеспечивается в настоящее время автоматически путем применения выпускаемых промышленностью регуляторов температуры, позволяющих ограничивать ее колебания с точностью до $\pm 1^\circ\text{C}$.

4) Операции по регенерации фильтров выполняются периодически, причем на современных водоподготовительных установках продолжительность рабочего цикла фильтров составляет, как правило, около суток, что объясняется большими резервами, принимаемыми при проектировании этих установок.

Таким образом, с точки зрения сокращения эксплуатационного персонала, получение заметного эффекта на водоподготовительных установках электростанций возможно только при условии их полной автоматизации. Однако для осуществления такой полной автоматизации отсутствуют пока необходимые для нее автоматические анализаторы качества воды. Кроме того, вызывает со-

мление, в какой мере такая полная автоматизация водоподготовительных установок может дать достаточный экономический эффект. При этом необходимо учитывать малочисленность обслуживающего персонала на этих установках и в то же время необходимость квалифицированного ухода за приборами автоматического контроля качества воды.

Поэтому в настоящее время целесообразной является частичная автоматизация водоподготовительных установок и в первую очередь автоматизация операций по регенерации фильтров. Автоматизация этих операций целесообразна по следующим соображениям:

1) Автоматическая регенерация фильтров освобождает обслуживающий персонал от довольно тяжелого физического труда по приготовлению регенерационных растворов реагентов, а также открыванию и закрыванию задвижек диаметром 150—200 мм.

2) Представляется возможным на вновь проектируемых водоподготовительных установках уменьшать количество устанавливаемых фильтров за счет сокращения длительности их рабочего цикла и соответствующего увеличения суточного числа регенераций, выполняемых автоматически.

3) Автоматическая регенерация фильтров обеспечивает стабилизацию условий проведения всех операций по регенерации, что должно дать экономию в расходе реагентов и воды на промывку.

Автоматизация операций по регенерации фильтров на водоподготовительных установках электростанций внедряется пока очень медленно, что объясняется главным образом отсутствием централизованного производства специализированной арматуры с автоматическим приводом. В настоящее время имеется лишь небольшое количество водоподготовительных установок, где автоматизация фильтров осуществлена силами станций путем кустарного изготовления необходимой арматуры и приводов.

В качестве примера для ознакомления читателя с такого рода автоматизацией ниже дается краткое описание автоматизации регенерации ионообменных фильтров на одной из электростанций Тулэнерго.

Исполнительными механизмами на этой установке являются задвижки с гидроприводом. На рис. 10-2 пред-

ставлена схема автоматического и ручного управления задвижкой с гидроприводом. На этой схеме показаны, помимо задвижки с гидроприводом, ручной распределительный кран дискового типа, а также электрогидравлический распределительный клапан для автоматического управления гидрозадвижкой.

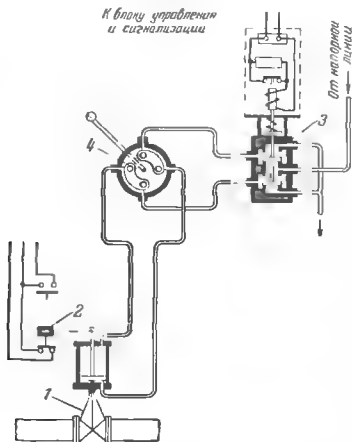


Рис. 10-2. Схема автоматического и ручного управления задвижкой с гидроприводом.

1—задвижка с гидроприводом; 2—конечный выключатель гидропривода; 3—гидравлический распределительный клапан; 4—электромагнит; 5—кнопка управления; 6—ручной распределительный кран; 7—сигнальная лампа „открыта“; 8—сигнальная лампа „закрыта“; 9—от напорной линии; 10—в дренаж

На рис. 10-2 поршень гидропривода находится в крайнем нижнем положении (задвижка закрыта), а электромагнит распределительного клапана 3 обесточен и сам клапан пружиной прижат к нижним седлам распределителя, при этом вода от напорной линии поступает в средний штуцер распределительного крана, выходит из его

нижнего левого штуцера, проходит далее через каналы ручного распределительного крана и поступает затем в камеру гидропривода над поршнем. При автоматическом управлении задвижкой ручной распределительный кран является только проходным звеном, не участвующим в схеме автоматики. В этом случае рукоятка крана застопорена и запломбирована. Под давлением воды поршень гидропривода вместе со штоком задвижки перемещается вниз, вытесняя воду из нижней камеры гидропривода, откуда вода, пройдя через каналы ручного распределительного крана, поступает в верхний левый штуцер электрогидравлического распределительного клапана и выходит через верхний правый штуцер в дренаж. Для открытия задвижки подается напряжение на электромагнит распределительного клапана, в результате чего сам клапан переходит в верхнее положение и прижимается к верхним седлам распределителя. В этом положении вода из среднего штуцера распределителя поступает в его верхний левый штуцер, откуда, пройдя через канал ручного распределительного крана, поступает в нижнюю камеру гидропривода под поршнем. Под давлением воды поршень гидропривода вместе со штоком задвижки перемещается вверх, вытесняя воду из верхней камеры привода, откуда вода, пройдя через каналы ручного распределительного крана и электрогидравлического распределительного клапана, направляется в дренаж.

Такое сочетание гидропривода с ручным распределительным краном и электрогидравлическим распределительным клапаном позволяет без какой-либо предварительной подготовки переходить с автоматического управления на ручное и обратно. Так, например, если в положении, представленном на рис. 10-2, имеется надобность открыть задвижку ручным способом, то для этого достаточно сорвать пломбу и повернуть рукоятку ручного распределительного крана на 90° . При этом потоки воды в трубопроводах, соединяющих кран с гидроприводом, изменяют свое движение на обратное, в результате чего под поршень гидропривода подается давление, и задвижка открывается.

На рис. 10-3 представлена схема автоматизации насосных фильтров по групповой системе МО ЦКТИ, сущность которой заключается в том, что группа фильтров

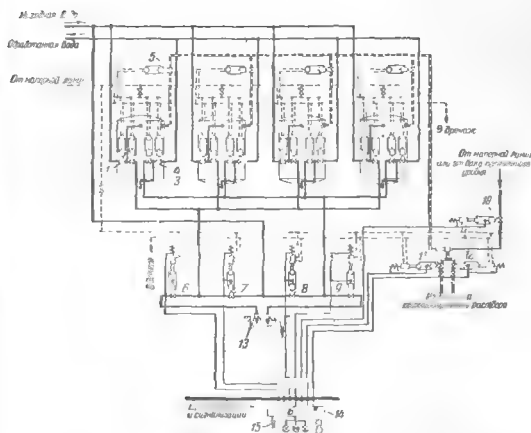


Рис. 10-3. Принципиальная схема автоматизации паровых фильтров по системе МО ЦКТИ.

обслуживаются единым автоматическим устройством, подключаемым по мере надобности к любому фильтру даниой группы, нуждающемуся в проведения регенерации. На схеме показана автоматизированная группа из четырех фильтров. Каждый фильтр оснащен пятью задвижками с гидравлическими приводами, управляемыми ручными распределительными кранами, посредством которых эксплуатационный персонал осуществляет отключение фильтра от рабочих магистралей и подключение его к автоматическому устройству. Последнее состоит из трех блоков: 1) блок взрыхления и отмыски, включающий в себя группу автоматически управляемых задвижек с гидроприводами и электрогидравлическими распределителями, а также автоматические ограничители интенсивности взрыхления и отмыски; 2) блок приготовления и подачи регенерационного раствора, включающий в себя, помимо автоматически управляемых задвижек

с гидроприводом, гидроэлеватор и реле уровня, расположенные у мерника регенерационного раствора; 3) блок управления и сигнализации, включающий в себя командный электрический прибор (КЭП), группу реле, сигнальные лампы и пр.

Работа автоматизированных фильтров протекает следующим образом. Обслуживающий персонал на основе оперативного химического контроля определяет момент истощения фильтров данной группы, после чего отключает истощенный фильтр от рабочих магистралей путем последовательного закрытия гидравлических задвижек 4 и 1 и подключает его к блоку взрыхления и отмывки путем открытия гидравлических задвижек 2 и 3, а также открывает гидравлическую задвижку 5 на трубопроводе регенерационного раствора, идущего от блока приготовления и подачи регенерационного раствора. Затем посредством поворота ключа 15 тот же персонал включает блок автоматики 14, после чего последний обеспечивает автоматическое проведение всех операций по регенерации фильтра, а именно: взрыхление, подачу регенерационного раствора и отмывку.

Операции взрыхления и отмывки контролируются программным реле времени, а операции подачи в фильтр регенерационного раствора также по времени или с помощью реле уровня.

После включения блока автоматики открывается сначала задвижка 8, а затем задвижка 6, при этом исходная вода через задвижки 8 и 3 попадает в нижнюю часть регенерируемого фильтра. Пройдя через нижнюю распределительную систему фильтра и сквозь слой загруженного в фильтр ионита, вода взрыхляет его и вместе с частицами механического износа ионита выходит из верхней части фильтра и через задвижку 2 и 6 удаляется в канализацию. Необходимая интенсивность взрыхления автоматически поддерживается дроссельно-поплавковым ограничителем 13. Длительность взрыхления 10--15 мин.

По окончании взрыхления ионита реле времени с помощью блока управления обеспечивает последовательное закрытие задвижек 6 и 8 и открытие задвижек 10 и 9. Далее подается двукратная порция регенерационный раствор. Причем в зависимости от назначения фильтра первая порция может быть менее концентрированной и тогда открывается одна задвижка 11, а затем для второй порции дополнительно открывается задвижка 12. Если же первая порция должна быть более концентрированной, чем вторая, то в этом случае сначала открываются две задвижки 11 и 12, а затем при подаче второй порции раствора одна задвижка 12 закрывается.

Вода от напорной линии поступает через задвижку 10 к водоструйному насосу, проходя через который засасывает из мерника концентрированный раствор реагента и, перемешавшись с ним, выходит из водоструйного насоса в виде разбавленного раствора реагента заданной концентрации, который через задвижку 5 направляется в верхнюю часть регенерируемого фильтра.

Пройдя сверху вниз через загруженный в фильтр ионит, отработанный раствор реагента вместе с продуктами регенерации выходит через нижнюю распределительную систему фильтра и далее через задвижки 3 и 9 удаляется в канализацию. Необходимая скорость пропускания через фильтр регенерационного раствора автома-

тически поддерживается дроссельно-поплавковым ограничителем 13. Длительность операции колеблется в пределах 30—60 мин.

Блок приготовления и подачи регенерационного раствора имеет некоторые отличия в зависимости от назначения ионитных фильтров. На рис. 10-4 дана схема приготовления и подачи регенерационного раствора соли для натрий-катионитных фильтров, а на рис. 10-5 дана схема приготовления и подачи регенерационного раствора кислоты или щелочи для водород-катионитных или анионитных фильтров при химическом обессоливании воды.

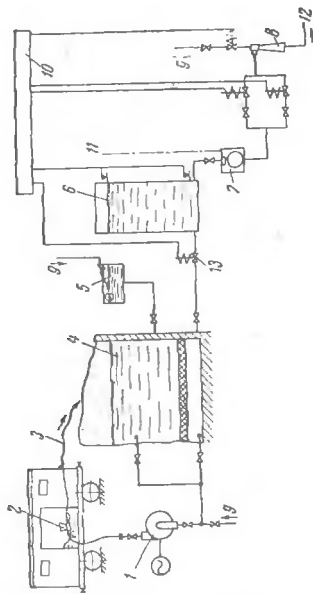
При включении автоматики у натрий-катионитных фильтров прежде чем откроется задвижка 8 для подачи исходной воды на взрыхление фильтра закроется с помощью электрогидравлического распределительного клапана задвижки 13 (см. рис. 10-4) на трубопроводе, соединяющем мерник 6 со складом мокрого хранения соли 4, и только после закрытия этой задвижки ее конечный выключатель включит пусковое устройство задвижки 8. Это необходимо для того, чтобы предотвратить поступление соли из склада в мерник во время регенерации фильтра и тем самым обеспечить точное отмеривание количества подаваемого регенерационного раствора.

При включении автоматики у водород-катионитных или анионитных фильтров прежде чем откроется задвижка 8 для взрыхления, закроется с помощью электрогидравлического распределительного клапана задвижки 14 (рис. 10-5) для отключения мерника 6 от промежуточного расходного бака¹ кислоты или щелочи 5, что обеспечивает точное отмеривание подаваемого регенерационного раствора.

По окончании подачи в фильтр регенерационного раствора реле времени с помощью блока управления обеспечивает закрытие задвижек 11 и 12, а затем последовательное открытие задвижки 7 и закрытие задвижки 10, через которую от напорной линии поступает вода к эжектору. Задвижка 9 на дренажной линии остается открытой от предыдущей операции, при этом исходная вода через задвижки 7 и 2 поступает в верхнюю часть фильтра. Пройдя сквозь загруженный в фильтр ионит, промывная вода выходит через нижнюю распределительную систему фильтра и через задвижки 3 и 9 удаляется в канализацию. Необходимая интенсивность отмывки автоматически поддерживается тем же дроссельно-поплавковым ограничителем 13, что и при подаче регенерационного раствора. Длительность этой операции колеблется в пределах 60—90 мин, а для анионитных фильтров может достигать 4 ч.

Отмывка ионита может осуществляться по упрощенной схеме путем подачи отмывочной воды через эжектор. В этом случае в блоке взрыхления и отмывки задвижка 7 отсутствует и для перехода с операции подачи регенерационного раствора на операцию отмывки достаточно только закрыть задвижки 11 и 12 на всасывающих патрубках из мерников. Применение такой схемы отмывки позволяет во всех случаях обеспечивать необходимую скорость подачи отмывочной воды, которая равна скорости подачи регенерационного раствора и поддерживается одним и тем же поплавковым

¹ Емкость этого бака рассчитывают на 5—6 регенераций, заполнение его осуществляют из склада-листерны пневматическим путем.



ограничителем. Отмывка по описанной схеме успешно применяется на указанной электростанции Тулэнерго.

После окончания отмывки нонита рэле времени с помощью блока управления обеспечивает последовательное закрытие задвижек 9 и 7, а в случае применения описанной выше упрощенной

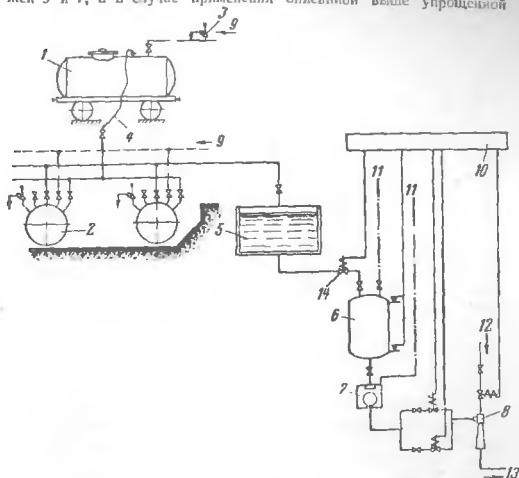


Рис. 10-5. Схема автоматического приготовления и подачи регенерационного раствора кислоты или щелочи двумя порциями различной концентрации.

1—железнодорожная цистерна; 2—бак-склад для хранения крепкой серной кислоты или щелочи; 3—предохранительный клапан; 4—гибкий шланг; 5—расходный бак крепкой серной кислоты или щелочи; 6—мерник крепкой серной кислоты или щелочи; 7—поплавок регулятор постоянного уровня; 8—гидроэлемент; 9—сжатый воздух; 10—панель автоматики; 11—воздушник; 12—от напорной линии; 13—на фильтры.

схемы задвижек 9 и 10. Затем открывается задвижка 13, установленная на трубопроводе между мерником и складом мокрого хранения соли (рис. 10-4) или между мерником и промежуточным расходным баком кислоты или щелочи (рис. 10-5), что обеспечивает заполнение мерника 6. После этого обесточивается вся схема автоматики и подается светозвуковой сигнал, оповещающий дежурный персонал об окончании регенерации фильтра. Тогда аппаратчик, сняв поворотом ключа 15 светозвуковую сигнализацию, включает